

**„Entwicklung einer spielbasierten Virtual-Reality-Lernumgebung
zur Sensibilisierung für Trinkwasser“**

Bachelorarbeit

zur Erlangung des akademischen
Grades Bachelor of Science

Ernst-Abbe-Hochschule Jena

Fachbereich
Wirtschaftsingenieurwesen
Bachelor-Studiengang
E-Commerce

eingereicht von: Isabell Noack

geboren am: 16.12.2000

Betreuer der Hochschule: Prof. Dr.-Ing. Christian Erfurth

Zweitbetreuer der Hochschule: Oliver Sosna (Master of Science)

Tag der Einreichung: 19.08.2024

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VI
1 Einleitung	1
1.1 Kontext	1
1.2 Relevanz des Themas	1
1.3 Zielstellung und Forschungsfragen	2
1.4 Methodik und Struktur der Arbeit	3
1.5 Abgrenzung	4
2 Grundlagen	5
2.1 Einordnung von VR im Kontext XR, MR, AR	5
2.2 Augmented Reality	6
2.3 Virtual Reality	6
2.4 Serious Games und Gamification	8
3 Forschungsstand	9
3.1 Anwendungsbereiche	9
3.2 VR-Entwicklungstools und Hardware	9
3.3 Positive Auswirkungen	9
3.4 Herausforderungen und Kritik	10
3.5 Zusammenfassung	11
4 Anforderungen VRLE	13
4.1 Anforderungen aus der Literatur	13
4.2 Ergänzende Anforderungen	16
4.3 Kategorisierung der Anforderungen	17
5 Konzepterstellung	21
5.1 Randbedingungen	21
5.2 Qualitätsanforderungen	22
5.3 Technisches Konzept	22
5.4 Didaktisches Konzept	23
5.5 Gamification-Konzept	25
5.6 Konzept der Stationen	27
6 Prototypentwicklung	32
6.1 Entwicklungsumgebung	32

6.2	Tutorial.....	33
6.3	Spielerisches Szenario	35
6.4	Wasserkreislauf	38
6.5	Interaktive Elemente.....	38
6.6	Benutzereinstellungen	42
7	Evaluierung des Prototyps.....	44
7.1	Fragebogen	44
7.2	Durchführung der Umfrage.....	46
7.3	Beobachtungen während der Umfrage.....	47
7.4	Auswertung des User Experience Questionnaire.....	48
7.5	Ergebnisse der offenen Fragen	52
7.6	Feedback-Umsetzung	54
8	Diskussion	55
8.1	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	55
8.2	Interpretation der Ergebnisse	56
8.3	Einschränkung der Arbeit	58
8.4	Vorschläge für weiterführende Forschung.....	58
	Literaturverzeichnis.....	60
	Anhang.....	64
A.	Elemente der Gamification.....	64
B.	Themenfindung der Stationen und Gamification-Überlegungen	65
C.	GitHub-Repository.....	68
D.	Fragebogen.....	69
E.	Datengrundlage der Umfrageergebnisse	72
F.	Verteilung der Antworten pro Gegensatzpaar.....	78

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Simplified representation of a RV Continuum [9, S. 283, Abb. 1]	5
Abbildung 2: Beliebte Einsatzszenarien für VR [14, S. 21, Abb. 13].....	8
Abbildung 3: Diagramm des Wasserkreislaufs U.S. Geological Survey [41]	29
Abbildung 4: Vorraum mit Tutorial der Steuerung.....	33
Abbildung 5: Erklärung der Steuerung an den Controllern	34
Abbildung 6: Hauptraum des Labors, erste Station „Wasserkreislauf“	35
Abbildung 7: Arbeitsbereich mit Elementen des Wasserkreislaufs, Einstellungen und Scanner	36
Abbildung 8: Struktur des Scanners in Unity	37
Abbildung 9: Der Wasserkreislauf mit Fortschrittsanzeige im Hauptraum.....	38
Abbildung 10: Die Komponentenstruktur eines interaktiven Elements	40
Abbildung 11: Struktur eines Platzhalters, in den Elemente platziert werden können..	40
Abbildung 12: Interaktive Doppeltür zwischen Vorraum und Hauptraum	42
Abbildung 13: Skalenstruktur des UEQ mit 26 Gegensatz-Paaren, Original [45, S. 3]	45
Abbildung 14: UEQ sieben-stufige Skala mit den Gegensatzpaaren „langweilig – spannend“ und „gut – schlecht“	45
Abbildung 15: Mittelwert der UEQ-Skalen	49
Abbildung 16: Verteilung der Antworten für das Gegensatzpaar „unberechenbar – voraussagbar“	50
Abbildung 17: Fragebogen (erstellt mit LimeSurvey) [43].....	71
Abbildung 18: Verteilung der transformierten Antworten pro Gegensatzpaar	78

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Randbedingungen einer spielbasierten VRLE	18
Tabelle 2: Qualitätsanforderungen einer spielbasierten VRLE	18
Tabelle 3: Technische Anforderungen einer spielbasierten VRLE	19
Tabelle 4: Didaktische Anforderungen einer spielbasierten VRLE	19
Tabelle 5: Gamification-Elemente einer spielbasierten VRLE	20
Tabelle 6: Offene Fragen zur Evaluation des Prototyps	46
Tabelle 7: UEQ-Skalen mit Mittelwert und Standardabweichung	49
Tabelle 8: UEQ-Gegensatzpaare „unverständlich – verständlich“ und „langweilig – spannend“ mit Mittelwert und Standardabweichung	51
Tabelle 9: UEQ-Gegensatzpaar „nicht immersiv – immersiv“ mit Mittelwert und Standardabweichung	51
Tabelle 10: Key Elements of Gamification [16, S. 83, Tab. 1]	64
Tabelle 11: Rohdaten des UEQ	72
Tabelle 12: Transformierte Daten des UEQ.....	73
Tabelle 13: Antworten der offenen Fragen	74

Abkürzungsverzeichnis

AR	<i>Augmented Reality</i>
CAVEs	<i>Cave Automatic Virtual Environments</i>
HMDs	<i>Head Mounted Displays</i>
MR	<i>Mixed Reality</i>
SG	<i>Serious Games</i>
UEQ	<i>User Experience Questionnaire</i>
VR	<i>Virtual Reality</i>
VRLE	<i>Virtual Reality Learning Environment</i>
XR	<i>Extended Reality</i>

1 Einleitung

Die vorliegende Bachelorarbeit dokumentiert die Entwicklung und Umsetzung einer spielbasierten VR-Lernumgebung zum Thema Trinkwasser. In dem ersten Kapitel werden der Kontext der Arbeit, die Relevanz des Themas sowie die zentralen Forschungsfragen vorgestellt. Die Methodik und Struktur der Arbeit werden kurz erläutert, gefolgt von einer Abgrenzung, um den Fokus der Arbeit zu verdeutlichen.

1.1 Kontext

Die Arbeit entsteht im Rahmen des Projekts WaterLab, welches vom Thüringer Wasser-Innovationscluster [1] initiiert wurde. Der Thüringer Wasser-Innovationscluster ist ein Forschungsverbund des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, der sich auf die Entwicklung von Lösungen für eine nachhaltige Wassernutzung konzentriert. Im Detail wird das Innovationsfeld „Wasser verstehen und erklären“ betrachtet. Fünf Projekte, darunter WaterLab, widmen sich der Gewinnung und Vermittlung von Wissen über Wasser [2]. Das Ziel ist, das Bewusstsein für den Umgang mit Wasser zu stärken, indem das Bildungsangebot in diesem Bereich verbessert wird.

„In WaterLab wird ein Demonstrator für eine Lernumgebung zur Visualisierung und Interaktion in sozialer gemischter Realität aufgebaut“ [3]. Die Simulation und Vermittlung komplexer Wasserinfrastrukturen stehen im Vordergrund. Kooperationspartner des Projekts sind die Ernst-Abbe-Hochschule Jena, das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) und die Consensive GmbH.

1.2 Relevanz des Themas

Sauberes Wasser ist nicht nur die Grundlage allen Lebens, sondern auch ein zentrales Menschenrecht. Die Vereinten Nationen haben 2010 das Recht auf Zugang zu sauberem Trinkwasser und Sanitärversorgung als unverzichtbar für ein Leben in Würde und die Verwirklichung aller anderen Menschenrechte anerkannt [4]. Angesichts dieser globalen Bedeutung ist es von hoher Wichtigkeit, innovative Wege zu finden, um das Bewusstsein für Wasser als schützenswertes Gut zu schärfen.

Die Herausforderung im Bildungswesen besteht darin, Lerninhalte so zu vermitteln, dass sie die Aufmerksamkeit der Schüler auf sich ziehen und gleichzeitig verständlich sind. In der heutigen Zeit ist es von entscheidender Bedeutung, moderne Lernmethoden

einzusetzen, um den sich wandelnden Lernbedürfnissen gerecht zu werden [5, S. 276]. Mit dem Aufkommen von Smart Learning und Extended Reality (XR) Technologien bieten sich neue Ansätze, um Lerninhalte zu vermitteln. Technologien wie Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR) und Mixed Reality (MR) gelten als vielversprechende Werkzeuge für die Bildung [6]. Die Lernmotivation kann mit der Verwendung von gemischter Realität gesteigert werden, da sie eine Vielzahl von pädagogischen Theorien und Ansätzen unterstützt und Möglichkeiten für personalisiertes und kollaboratives Lernen bietet [7, S. 1745–1747]. Schüler werden außerdem von passiven Beobachtern zu agierenden Nutzern und nehmen an dem Lernprozess aktiv teil [8, S. 5501]. VR erzeugt vollständig computergenerierte Umgebungen, in welche die Nutzer eintauchen und mit ihnen interagieren können, während AR digitale Elemente in die reale Umgebung einblendet und MR diese beiden Ansätze miteinander kombiniert. Die vorliegende Arbeit betrachtet konkret Virtual Reality als Lernumgebung.

Ein weiterer Ansatz stellen Serious Games (SG) dar, bei dem der Lernprozess spielerisch gestaltet wird. Spielmechaniken werden in die Lernumgebung integriert. Diese Ansätze finden bereits in allen Bildungsbereichen Anwendung, von der Grund- und Sekundarstufe bis hin zu Universitäten und Berufsausbildungen.

1.3 Zielstellung und Forschungsfragen

Das Ziel dieser Bachelorarbeit ist die Entwicklung eines Prototyps einer spielbasierten Virtual-Reality-Lernumgebung (VRLE) zum Thema Trinkwasser. Die Lernumgebung richtet sich an Schüler der Sekundarstufe I und nutzt VR sowie spielerische Elemente als zentrale Aspekte. Im Verlauf der Bachelorarbeit werden folgende Forschungsfragen untersucht:

Forschungsfrage 1: Was muss bei der Konzeption einer spielbasierten Virtual-Reality-Lernumgebung berücksichtigt werden?

Forschungsfrage 2: Welche Elemente eignen sich, um Lerninhalte zum Thema Trinkwasser spielerisch zu vermitteln?

Forschungsfrage 3: Wie können die Lerninhalte in der Virtual-Reality-Lernumgebung verständlich und spannend dargestellt werden?

1.4 Methodik und Struktur der Arbeit

Vorerst wird im ersten Kapitel der Kontext dieser Arbeit, die Relevanz des Themas und die Zielstellung dargelegt. Das zweite und dritte Kapitel beschreiben die Grundlagen und den aktuellen Forschungsstand von Gamification und VR in der Bildung, um eine Basis zur Einordnung des Themas zu geben.

Das vierte Kapitel widmet sich einer Literaturrecherche. Im Rahmen dieses Kapitels wird Forschungsfrage 1 untersucht, welche Aspekte bei der Konzeption einer spielbasierten Virtual-Reality-Lernumgebung berücksichtigt werden müssen. Die Recherche der Anforderungen dient als Grundlage für die Konzeption der VRLE. Dabei wird auf Themen wie ein didaktisches Lernkonzept, technische Anforderungen und Gamification-Elemente eingegangen.

Im Rahmen der Konzepterstellung in Kapitel fünf wird Forschungsfrage 2 behandelt: Welche Elemente eignen sich, um Lerninhalte zum Thema Trinkwasser spielerisch zu vermitteln? Dabei bezieht sich das Vermitteln im Rahmen dieser Arbeit auf die Darstellung der Lerninhalte. Basierend auf den in Kapitel vier ermittelten Anforderungen wird das Konzept erstellt. Aus dem didaktischen und dem Gamification-Konzept entstehen die Stationen der VRLE.

Die Prototypentwicklung findet in Kapitel sechs statt. Die Umsetzung der ersten Station des Konzepts wird detailliert beschrieben. Basierend auf dem erstellten Konzept werden die Gamification-Elemente und Lerninhalte eingebunden.

Im siebten Kapitel wird der Prototyp mithilfe einer Umfrage evaluiert. Die Umfrage umfasst die Erhebung qualitativer und quantitativer Daten von 16 Teilnehmern mithilfe eines Fragebogens. Der Fragebogen besteht aus personenbezogenen Fragen, dem User Experience Questionnaire (UEQ) [9], um Aspekte der Benutzererfahrung zu messen, und offenen Fragen, welche sich auf die Arbeit beziehen. Die gesammelten Daten werden anschließend ausgewertet. Durch die Auswertung der Verständlichkeit und Spannung des Prototyps wird Forschungsfrage 3 betrachtet.

Abschließend werden im achten Kapitel die Ergebnisse der Arbeit diskutiert und in den Kontext des aktuellen Forschungsstands eingeordnet. Es werden Einschränkungen der Arbeit aufgezeigt und Vorschläge für weiterführende Forschung gemacht.

1.5 Abgrenzung

Diese Bachelorarbeit fokussiert sich auf der Entwicklung eines Prototyps, nicht auf der Auslieferung einer vollständigen Software. Es geht um die Umsetzung von Gamification im Kontext einer VRLE, die über das Thema Trinkwasser informiert. Dabei geht es nicht um die Durchführung einer ausführlichen Usability-Studie oder um die Auswertung, wie gut diese Lernumgebung zur Lernmotivation und Sensibilisierung für das Thema beiträgt.

2 Grundlagen

Das folgende Kapitel dient der Einführung in die Grundlagen von Virtual Reality (VR) und Gamification. Es werden die verschiedenen Technologien im Kontext von Extended Reality (XR) eingeordnet und die Konzepte von Augmented Reality (AR), Virtual Reality (VR), Mixed Reality (MR) und Serious Games (SG) erläutert.

2.1 Einordnung von VR im Kontext XR, MR, AR

XR ist ein Oberbegriff für Technologien, die die reale Welt mit computergenerierten Elementen verschmelzen und so die Wahrnehmung der Realität erweitern. Dazu gehören VR, AR und MR. Diese unterscheiden sich vor allem anhand des Verhältnisses zwischen realer und virtueller Welt. Die Grenzen zwischen den Technologien sind jedoch fließend.

Als grundlegendes Konzept zur Klassifizierung der XR-Technologien gilt das „Reality-Virtuality Continuum“, welches von Milgram et al. entwickelt wurde [10]. AR und VR sind Teil des Reality-Virtuality Continuum, welches in *Abbildung 1: Simplified representation of a RV Continuum* [10, S. 283, Abb. 1] ersichtlich ist. „Augmented Virtuality“ steht in der Abbildung stellvertretend für VR.

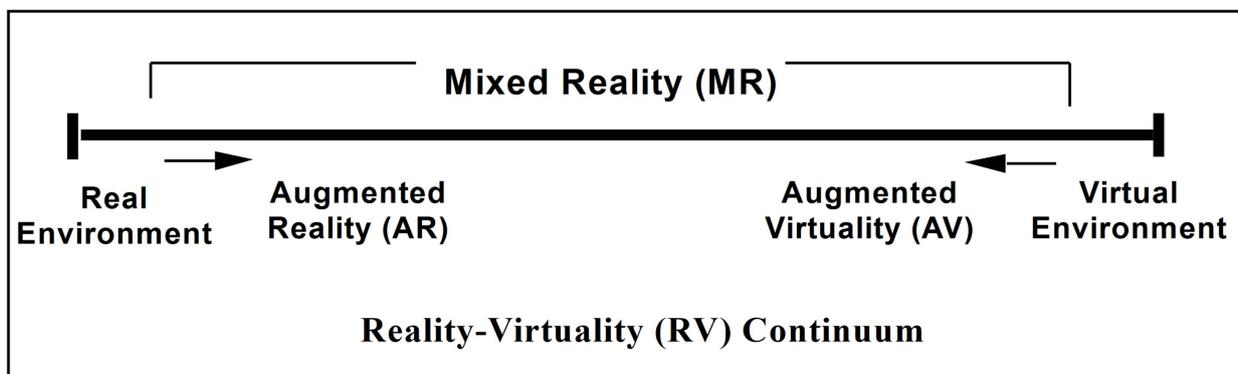


Abbildung 1: Simplified representation of a RV Continuum [10, S. 283, Abb. 1]

Am linken Extrem des Spektrums befindet sich die reale Welt. Es umfasst jede Umgebung, die ausschließlich aus realen Objekten besteht. Dies beinhaltet sowohl die direkte Betrachtung vor Ort als auch die Beobachtung durch Fenster oder Bildschirme. Das rechte Extrem ist eine komplett virtuelle Umgebung. Je weiter man sich auf dem Kontinuum nach rechts bewegt, desto immersiver wird die Erfahrung. Immersion beschreibt das Gefühl des völligen Eintauchens in eine Umgebung, bei dem die reale

Welt in den Hintergrund tritt und der Nutzer sich vollständig in der virtuellen Welt präsent fühlt. Der Bereich zwischen den Extremen gilt als MR. Dies umfasst Mischformen von AR und VR. AR bildet hierbei die Nähe zu der realen Umgebung ab, während VR näher an dem virtuellen Raum ist.

2.2 Augmented Reality

AR, im Deutschen auch als „erweiterte Realität“ bezeichnet, beschreibt gemäß Azuma [11] die Kombination der realen Welt mit virtuellen Elementen in Echtzeit. Dabei werden die virtuellen Objekte in der realen Umgebung dreidimensional dargestellt und ermöglichen eine Echtzeit-Interaktion zwischen Nutzern und virtuellen Elementen.

Verschiedene Geräte ermöglichen in AR die Verbindung digitaler Informationen mit der realen Welt. Handheld-Geräte wie Smartphones und Tablets sowie AR-Brillen und Smartglasses gehören zu typischen Eingabegeräten. Fortgeschrittene AR-Systeme arbeiten zudem auch mit Handgesten, Körperbewegungen oder Sprachsteuerung [12].

2.3 Virtual Reality

Anstatt die Welt mit digitalen Inhalten zu ergänzen, wie es bei AR typisch ist, wird die reale Welt bei VR komplett ausgeblendet. Der Nutzer taucht in eine virtuelle Umgebung ein. Daher wird dies im Vergleich zu AR meist als immersiver eingeschätzt.

2.3.1 VR-Technologien

Im Bereich der VR spielen verschiedene Technologien eine wichtige Rolle, die unterschiedliche Nutzererfahrungen ermöglichen. Dazu gehören insbesondere Head Mounted Displays (HMDs), Cave Automatic Virtual Environments (CAVEs) [13] und Cardboard.

HMDs sind Geräte, die am Kopf getragen werden und dem Nutzer ein immersives VR-Erlebnis vermitteln. Sie bestehen aus zwei Bildschirmen, die vor den Augen positioniert sind, und Sensoren, die die Kopfbewegungen des Nutzers erfassen. Diese Daten werden verwendet, um die Bilder auf den Bildschirmen entsprechend anzupassen, sodass eine realistische Echtzeit-3D-Umgebung entsteht. HMDs können mit Computern, Spielkonsolen oder mobilen Geräten verbunden werden.

CAVEs [13] sind raumgroße VR-Systeme, die aus mehreren Projektoren und Leinwänden bestehen, die an den Wänden und der Decke eines Raums angebracht sind. Die Projektoren projizieren 3D-Bilder auf die Leinwände, die den Nutzer von allen Seiten umgeben. CAVEs werden häufig für wissenschaftliche Forschung, Simulationen und Weiterbildungen verwendet.

Cardboard ist eine einfache und kostengünstige Möglichkeit, VR mit einem Smartphone zu erleben [14]. Es handelt sich um eine faltbare Kartonkonstruktion, in die ein Smartphone eingesetzt wird. Die VR-App auf dem Smartphone sendet dann stereoskopische 3D-Bilder an den Bildschirm, die durch die Linsen des Cardboard betrachtet werden können. Aufgrund ihrer technologischen Beschränkungen werden Cardboard VR-Brillen eher mit passiven Erfahrungen in Verbindung gebracht. 360-Grad-Bilder und -Videos [15] sind ein typisches Beispiel für passive VR-Erfahrungen. Explorative und explorativ-interaktive VR-Erfahrungen werden aufgrund der höheren Rechenleistung der Geräte, die diese steuern, in der Regel nur für CAVEs und hochwertige HMDs entwickelt [8, S. 5511].

2.3.2 VR-Anwendungsbereiche

VR wird in verschiedenen Bereichen angewendet, wie z. B. Unterhaltung, Bildung, Medizin und Industrie. VR wird bisher hauptsächlich im Bereich der Unterhaltungsindustrie, insbesondere bei Videospiele, eingesetzt. Im Bildungswesen hingegen findet VR weniger Anwendung, wie in *Abbildung 2: Beliebte Einsatzszenarien für VR* [16, S. 21, Abb. 13] dargestellt ist.



Hinweis: Mehrfachnennungen möglich | Basis: Nutzerinnen und Nutzer von VR-Brillen | Quelle: Bitkom Research

Abbildung 2: Beliebte Einsatzszenarien für VR [16, S. 21, Abb. 13]

2.4 Serious Games und Gamification

SG [17] stellen einen Oberbegriff für digitale Spiele dar, die über den reinen Unterhaltungswert hinausgehen. Sie können für Bildung, Training, Marketing, Gesundheitswesen oder andere Zwecke eingesetzt werden. Dem Konzept von Serious Games liegt die Idee zugrunde, dass man die Motivation und das Engagement von Spielern nutzen kann, um ihnen etwas Neues beizubringen oder sie in bestimmten Fähigkeiten zu trainieren.

Die Integration von Spielelementen in nicht spielerischen Kontexten wird als Gamification bezeichnet [18] und ist ein wichtiger Bestandteil von SG. Gamification lässt sich mit XR-Technologien kombinieren, um Lehr- und Lernaktivitäten zu bereichern und zu verbessern [19]. Kernmerkmale sind Spielmechaniken wie Punktevergabe, Levelsysteme und Bestenlisten [20, S. 35]. Diese Elemente tragen dazu bei, die Motivation der Spieler zu erhalten und den Lernprozess als unterhaltsame Erfahrung zu gestalten [20, S. 24].

3 Forschungsstand

Es gibt zahlreiche Literatur, die sich mit dem Thema VR oder Gamification in der Bildung auseinandergesetzt hat. Besonders interessant sind die Literaturanalysen von Lampropoulos und Kinshuk [7] sowie Checa und Bustillo [8], da diese Gamification und VR in der Bildung zusammen betrachten.

3.1 Anwendungsbereiche

In der Bildung gibt es bereits viele Anwendungsbereiche. Es wurden Studien in den MINT-Fächern sowie in Kunst, medizinischer Ausbildung, Gesundheitswesen und Sprachenlernen durchgeführt. [7, S. 1744ff.] Der Schwerpunkt der Forschungsarbeiten liegt dabei überwiegend auf der Hochschul- und Sekundarstufe, während es für die Grundschule weniger Studien gibt [7, S. 1699].

3.2 VR-Entwicklungstools und Hardware

Bei der Entwicklung von VRLEs wird häufig auf Game Engines zurückgegriffen. Unity [21] ist die mit Abstand die am meisten genutzte Entwicklungsplattform [7, S. 1736], was unter anderem auf seine zuverlässige Dokumentation und die einfache Implementierung mit HMDs zurückzuführen ist [8]. Unreal Engine [22] spielt allerdings ebenfalls eine wichtige Rolle, insbesondere bei VR-Trainingsanwendungen, wo realistische Grafiken entscheidend sind [8]. Zusätzliche Möglichkeiten für die VR-Entwicklung bieten außerdem das Oculus Rift Development Kit und Google VR SDK [7, S. 1757].

Die Geräte, die in den Studien verwendet wurden, variieren. Die beliebtesten waren das HTC Vive [23], [7, S. 1757] und die Oculus Rift [24], [8], [25].

3.3 Positive Auswirkungen

Lampropoulos und Kinshuk zeigen auf, dass sowohl VR als auch Gamification eine Bereicherung für den Unterricht darstellen und neue Lernformen ermöglichen [7, S. 1751]. Gan et al. [26] stellen fest, dass VR die bisherige, einseitige Form der Bildung verändert und ermöglicht, Wissen besser zu vermitteln, indem die Neugier der Schüler geweckt und ihre Kreativität genutzt wird. Die Lernumgebungen werden als interessanter und fesselnder empfunden, was zu gesteigerter Motivation, Engagement und sogar besseren schulischen Leistungen führen kann [7, S. 1694ff.]. Spielelemente machen

Bildung ansprechender und können die Begeisterung der Schüler für den Lernstoff wecken [27].

Die meisten Studien kamen zu dem Schluss, dass Gamification [25] und VR sich positiv auf den Bildungsprozess auswirken. Nur wenige Studien kamen zu neutralen oder negativen Ergebnissen durch zum Beispiel Bewegungskrankheit [7, S. 1747].

3.4 Herausforderungen und Kritik

Die Einführung von VR und Gamification in die Bildung ist nicht ohne Herausforderungen. Neben den technischen und didaktischen Hürden gibt es auch kritische Stimmen, die die Wirksamkeit dieser Methoden in Frage stellen und die Notwendigkeit weiterer Forschung betonen.

3.4.1 Hürden bei der Einführung in den Unterricht

Alnagrat et al. [6] identifizieren einen wesentlichen Grund für die eingeschränkte Verwendung von VR im Bildungsbereich: den Bedarf an Spezialwissen und VR-Ausstattung. Diese Anforderungen stellen Pädagogen vor Herausforderungen und können die Implementierung von VR in den Unterricht erschweren. Weitere Hürden für die Verwendung im Bildungsprozess stellen gelegentliches Unwohlsein bei längerer Nutzung und die Notwendigkeit einer speziellen Schulung für Lehrende dar [28]. Auch wird angemerkt, dass die Headsets mehrheitlich noch sperrig sind [26].

3.4.2 Didaktische Wirksamkeit

Rojas-Sánchez et al. [29] prognostizieren, dass mit der zunehmenden Verbreitung von VRLEs auch Grenzen gesetzt werden müssen. Eine dieser Grenzen ist die Notwendigkeit, die Effektivität der Lernumgebungen im Vergleich zu traditionellen Methoden zu verbessern. Dyrna et al. [30, S. 62] weisen darauf hin, dass insbesondere die Nutzung von VR-Brillen die Wahrnehmung nonverbaler Signale anderer Personen, wie Mimik und Gestik, einschränkt. Dies kann sich negativ auf soziale Lernprozesse auswirken, die auf Interaktion und Kommunikation basieren.

3.4.3 Bewegungskrankheit

Wie Dyrna et al. [30, S. 62] hervorheben, kann die Nutzung von VR, insbesondere über längere Zeiträume, zu Symptomen wie Übelkeit und Schwindel („Bewegungskrankheit“)

führen. Kazu und Kuvvetli [28] merken ebenfalls die Notwendigkeit, diese Herausforderungen anzugehen, an.

3.4.4 Notwendigkeit weiterer Forschung

Auch hinsichtlich der Auswertung existierender Studien wird Kritik von Checa und Bustillo [8] ausgeübt. Es wird bemängelt, dass in der Regel hauptsächlich die Zufriedenheit der Benutzer und die Kompetenzentwicklung ausgewertet werden. Hier kommen andere Schlüsselfaktoren zu kurz, wie Immersion und Benutzerfreundlichkeit und wie diese mit der Lerneffizienz korrelieren.

Lampropoulos und Kinshuk [7] weisen darauf hin, dass die meisten Studien die kognitive Entwicklung untersuchten, für eine Evaluation aber auch die Untersuchung der die sozial-emotionale und physische Entwicklung der Schüler wichtig ist, um die Auswirkungen von Gamification und VR besser zu verstehen.

Radianti et al. [31] stellen fest, dass VR in einigen Bereichen wie Brandschutz und Chirurgie bereits ausgereift ist, um komplexes Wissen zu vermitteln. Die Autoren weisen jedoch darauf hin, dass sich die Mehrheit der VR-Anwendungen in der Hochschulbildung noch in der experimentellen Phase befindet und oft nicht systematisch oder nach bewährten Verfahren eingesetzt werden.

Radianti et al. [31] bemängeln zudem, dass nur wenige designorientierte Studien auf der Grundlage einer bestimmten Lerntheorie aufgebaut sind. Es wäre wichtig, VR-Anwendungen auf Basis von anerkannten Lerntheorien zu entwickeln, um ihre Effektivität zu verbessern. Dies stellen auch Kazu und Kuvvetli [28] fest.

Kazu und Kuvvetli [28] betonen außerdem die Notwendigkeit weiterer Forschung, um die langfristigen Auswirkungen von VR-Technologien auf das Lernen zu untersuchen. Zukünftige Studien sollten sich zusätzlich auf die Skalierbarkeit und Kosteneffektivität dieser Technologien in verschiedenen Bildungsbereichen konzentrieren.

3.5 Zusammenfassung

Mehrere Studien belegen, dass VR und Gamification das Potential haben, die Bildung zu verbessern, indem sie einen neuen Lernansatz bietet, welcher die Lernmotivation und die Beteiligung steigern kann und dazu zu einem besseren Lernergebnis führt.

Dennoch stehen der Integration von VR und Gamification in die Bildung technische und didaktische Barrieren gegenüber. Diese Barrieren umfassen das Erfordernis spezieller Fachkenntnisse, technische Herausforderungen, fehlende theoretische Fundierung für die Integration in den Lehrplan und mögliche Beeinträchtigungen durch Bewegungskrankheit. Es bedarf zudem weiterer Untersuchungen der langfristigen Auswirkungen und Kosteneffektivität von VRLEs.

4 Anforderungen VRLE

Dieser Abschnitt widmet sich der Beantwortung der Forschungsfrage 1: Was muss bei der Konzeption einer spielbasierten Virtual-Reality-Lernumgebung berücksichtigt werden? Mithilfe von Literatur werden Anforderungen gesammelt und kategorisch in einer Tabelle dargestellt. Die Liste der Anforderungen dient als Grundlage der weiteren Arbeit.

4.1 Anforderungen aus der Literatur

Die Konzeption einer spielbasierten VRLE erfordert die Berücksichtigung verschiedener Aspekte aus dem Bereich der Spieleentwicklung, der VR-Technologie und der Didaktik.

Bucchiarone [32, S. 479–481] stellt eine Architektur zur Integration von VR- und Gamification-Mechanismen für eine Lernumgebung mit Digital-Twin Technologie vor. Ein digitaler Zwilling ist ein virtuelles Modell eines realen Objekts, das hilft, dieses Objekt besser zu verstehen und zu verbessern. Bucchiarone nennt Anforderungen für eine erfolgreiche Implementierung, welche eine klare Vision der Anwendung und die Vorstellung, wie und mit welchem Ziel das System verwendet werden soll, umfassen. Zudem wird die Wichtigkeit von Expertenwissen für Gamification, VR und Digital-Twin-Technologie hervorgehoben. Ein klarer Prozess zur Überwachung und Bewertung der Leistung soll integriert werden, um die Auswirkungen der Lernprogramme aufzuzeigen. Bucchiarone stellt fest, dass die Entwicklung und Implementierung einer solchen Lernumgebung mit erheblichen Investitionen verbunden sind. Einen Einfluss auf die Kosten nimmt die Entwicklung der Gamification-Elemente im Zusammenhang mit den Lernzielen, sowie VR-Interaktionen. Weitere Kosten fallen durch die Verwaltung, Wartung und Aktualisierung des Systems an. Daraus entsteht ein Risiko durch hohen Aufwand und die damit verbundenen Entwicklungskosten, welches berücksichtigt werden muss.

Vergara et al. [33] diskutieren die Möglichkeiten verschiedener Computersoftware zum Entwurf von VR-Anwendungen in der Ingenieurausbildung und schlagen ein allgemeines Flussdiagramm als Leitfaden für die Gestaltung solcher Anwendungen vor. Dieses beschreibt die Notwendigkeit der Überprüfung, dass der Einsatz der Anwendung den Lehr-Lern-Prozess verbessert und der Aufwand gerechtfertigt ist. Während der Entwicklung sollte man das passende Realitätsniveau festlegen, welches sich auf einer

Skala von sehr symbolisch oder schematisch bis sehr realistisch bewegt. Zudem sollte der Grad der Benutzerinteraktion bestimmt werden, welcher passiv, explorativ oder interaktiv sein kann. Bei der Auswahl der geeigneten Hard- und Software sollten Faktoren wie Immersion, Interaktionsgrad und verfügbare Ressourcen berücksichtigt werden. Daraufhin wird die virtuelle Welt modelliert und die Interaktivität programmiert. Abschließend sollte die Anwendung getestet und bei Bedarf angepasst werden.

Maroukas et al. [34, S. 95–104] beschreiben in ihrem Framework die Integration von Gamification und Personalisierungstechniken in VR-Umgebungen für ein adaptives Lerndesign. Das Paper betont die Bedeutung der Personalisierung in VRLEs, um ein maßgeschneidertes Lernerlebnis zu schaffen, indem auf Interessen, Lernstile, Fähigkeiten oder besondere Bedürfnisse eingegangen wird. Das Paper diskutiert verschiedene Gamification-Techniken, die in VRLEs eingesetzt werden können, wie beispielweise Abzeichen, Bestenlisten, Belohnungen, verschiedene Schwierigkeitsgrade und Mehrspielermodus. Maroukas et al. vergleichen die Verwendung von kostenintensiveren HMDs wie Oculus Quest und HTC Vive mit Cardboard und weisen darauf hin, dass die Wahl des geeigneten Geräts von individuellen Anforderungen und Vorlieben abhängig ist. Neben der Hardware muss auch eine Wahl der Software getroffen werden. Maroukas et al. nennen hier die Entwicklungsplattformen Unity und Unreal Engine.

Das Buch *Digital Games and Gamification in Education* von Taş, Bolat et al. [20] bietet eine umfassende Untersuchung der Integration von digitalen Spielen und Gamification in Bildungskontexten. Kapitel 8 von Abdullatif Kaban enthält eine Übersicht über die in der Gamification häufig verwendeten Elemente. Diese können als Grundlage für die Auswahl und Gestaltung von konkreten funktionalen Anforderungen in einer VRLE dienen. Die Liste ist im *Anhang A* als *Tabelle 10: Key Elements of Gamification* [20, S. 83, Tab. 1] hinterlegt und umfasst unter anderem Level, Punkte, Herausforderungen, Anpassungsmöglichkeiten und Erzählung. Wichtige Aspekte wie Feedbackschleifen und Fortschrittsverfolgung sowie Konkurrenz, Kooperation und soziale Interaktivität werden ebenfalls aufgeführt.

Dyrna et al. [30] haben im Rahmen ihres Projekts „Digitale Bildungsangebote in der Immobilienwirtschaft mittels Virtual Reality (DOMICLE-VR)“ einen Prototyp für eine digitale Wohnungsabnahme entwickelt. Dabei lag der Fokus auf der didaktischen,

technologischen und ökonomischen Gestaltung einer VRLE. In Hinsicht auf die didaktische Dimension muss sich die Nutzung und Gestaltung von Bildungstechnologien grundlegend an den didaktischen Fragen orientieren. Das schließt einen verbesserten Lernprozess, die Erreichung definierter Lernziele oder die Einbettung in ein Bildungsprogramm ein. Die Autoren betonen, dass VRLEs aufgrund des höheren Grades an Interaktionsmöglichkeiten und der Möglichkeit, das Nutzerverhalten aufzuzeichnen, großes didaktisches Potenzial haben. Die entwickelte VRLE ist realistischer und authentischer als herkömmliches Anschauungsmaterial, kann vorkonfiguriert werden und ermöglicht adaptive Nutzungsszenarien, wie beispielsweise verschiedene Schwierigkeitsgrade. Bei der technologischen Gestaltung wurde auf die Stabilität und Bedienerfreundlichkeit geachtet. Es wird darauf hingewiesen, dass die Benutzung von VR spezifische Technologien, wie HMDs, benötigt. Dyrna et al. weisen in ihrer ökonomischen Betrachtung auf das Risiko hoher Beschaffungs- und Entwicklungskosten hin. Bei ihrem Projekt wurden die Kosten der VR-Technologie reduziert, indem der Prototyp auf die Verwendung preiswerter HMDs, in Form von Cardboard, ausgelegt wurde. Die Nutzer konnten den Prototyp mit ihren eigenen Smartphones benutzen.

In der Publikation von Falah et al. [35] wurde für das komplexes Bildungsfeld der medizinischen Chemie die Anwendung „MedChemVR“ entwickelt. Mithilfe von Umfragen unter 405 Studierenden erfragten sie wichtige Merkmale der VR-Serious-Games-Lernanwendung. Angemerkt wurde unter anderem der Wunsch nach einer einfachen und schnellen Interaktivität mit der VR-Umgebung, und der Zugänglichkeit und Erschwinglichkeit basierend auf der Nutzung bereits vorhandener Geräte. Falah et al. betonen die Bedeutung von Gamification-Elementen, um die Motivation und das Engagement der Lernenden zu erhöhen. Die VR-Umgebung sollte hierbei nicht nur unterhaltsam sein, sondern auch relevantes Lehrmaterial enthalten, das den Lernenden hilft, die chemische Struktur von Arzneimitteln besser zu verstehen und sich einzuprägen.

Müser et al. [36, S. 361, 366] führten eine Pilotstudie durch, in der sie eine virtuelle Lernumgebung konzipierten und evaluierten. Dabei verglichen sie immersive VR mittels HMDs und nicht immersive 3D-Desktop-Umgebungen mit konventionellen Lernmaterialien. In Interviews äußerten die Studierenden Verbesserungsvorschläge, die interessante und relevante Aspekte für die Gestaltung solcher Lernumgebungen aufzeigen. Dazu gehören der Wunsch nach detaillierten Aufgabenbeschreibungen und

Erläuterungen, ein anpassbarer Schwierigkeitsgrad, ein Tutorial zur Nutzung der Controller und kurze Verständnistests nach einzelnen Aufgaben.

4.2 Ergänzende Anforderungen

Ergänzend zu den Anforderungen aus der Literatur werden im Folgenden weitere relevante Aspekte diskutiert.

Zeitliche Beschränkungen, wie ein festes Abgabedatum oder eine begrenzte Entwicklungszeit, können Einfluss auf den Umfang und die Detailtiefe der Umsetzung nehmen.

Um eine erfolgreiche VRLE zu gestalten, ist es wichtig, die Zielgruppe genau zu kennen. Nur so können Inhalte und Aufgaben optimal auf die Lernenden abgestimmt werden. Dazu gehört, die passenden Inhalte auszuwählen und die Komplexität der Aufgaben festzulegen. Für Grundschul Kinder sind beispielsweise spielerische Elemente und einfache Aufgaben geeignet, während Studierende und Experten anspruchsvollere Inhalte und Interaktionen benötigen.

Die Benutzerfreundlichkeit ist entscheidend, um sicherzustellen, dass die Lernenden die VR-Umgebung ohne Schwierigkeiten nutzen können. Aspekte wie intuitive Navigation, klare Anweisungen und eine übersichtliche Benutzeroberfläche sollten berücksichtigt werden. Zudem sollte die Barrierefreiheit für Menschen mit unterschiedlichen Bedürfnissen sichergestellt werden, beispielsweise durch Untertitel für Menschen mit Hörbeeinträchtigungen oder anpassbare Schriftgrößen für Menschen mit Sehbeeinträchtigungen.

Angesichts der Erfassung personenbezogener Daten in VRLE ist die Berücksichtigung von Datenschutz und Datensicherheit von entscheidender Bedeutung. Die VRLE muss die Sicherheit der Nutzerdaten gewährleisten und den geltenden Datenschutzbestimmungen entsprechen. Dies beinhaltet die Einhaltung der Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) der Europäischen Union, die strenge Regeln für die Erhebung, Verarbeitung und Speicherung personenbezogener Daten festlegt [37]. Neben Datenschutz und Datensicherheit müssen weitere rechtliche Rahmenbedingungen berücksichtigt werden. Dazu zählen Urheberrechte und Lizenzbestimmungen bei der Verwendung von externen Inhalten sowie der Jugendschutz bei Lernumgebungen für Minderjährige.

Die VRLE muss unter Berücksichtigung der physischen und psychischen Gesundheit der Nutzer gestaltet sein und darf keine gesundheitlichen Risiken bergen. Dazu gehört beispielsweise die Vermeidung von Übelkeit oder Schwindel (*Kapitel 3.4.3 Bewegungskrankheit*) durch langsame, fließende Bewegungen oder Teleportation sowie regelmäßige Pausen.

4.3 Kategorisierung der Anforderungen

Basierend aus den Erkenntnissen der Literatur und dem Buch „Basiswissen Requirements Engineering“ [38] werden die gesammelten Anforderungen in drei Kategorien unterteilt. Randbedingungen beschreiben äußere Umstände oder Einschränkungen, die nicht beeinflussbar sind, aber die Entwicklung des Systems beeinflussen. Funktionale Anforderungen beschreiben, was das System leisten soll, welche Funktionen es bieten muss und wie es sich verhalten soll. Die funktionalen Anforderungen werden für diese Arbeit weiter spezifiziert in technische Anforderungen, didaktische Anforderungen und Gamification-Elemente. Qualitätsanforderungen legen fest, wie gut das System die funktionalen Anforderungen erfüllen soll, beispielsweise hinsichtlich Leistung, Zuverlässigkeit oder Benutzerfreundlichkeit.

Die Anforderungen werden mit den Autoren oder aus den eigenen Ergänzungen aufgelistet, zusätzlich werden diese priorisiert und nach Muss, Soll und Kann eingestuft. Muss-Anforderungen sind für die Funktionalität, Sicherheit und den didaktischen Wert der Anwendung essenziell. Soll-Anforderungen sind nicht zwingend erforderlich, tragen aber erheblich zur Qualität und Benutzerfreundlichkeit der Lernumgebung bei. Kann-Anforderungen stellen zusätzliche Funktionen dar, die die Lernumgebung und den Lernprozess weiter ergänzen können, aber nicht unbedingt erforderlich sind. Sie können jedoch je nach Zielgruppe und Anwendungsbereich einen erheblichen Mehrwert bieten.

Die folgende Aufstellung präsentiert eine umfassende Liste an Anforderungen, die bei der Konzeption und Entwicklung spielbasierter VRLEs berücksichtigt werden sollten. Es ist jedoch zu beachten, dass jedes Projekt individuelle Randbedingungen und Zielsetzungen aufweist, weshalb eine sorgfältige Auswahl der Anforderungen in Abhängigkeit von Machbarkeit und Relevanz unerlässlich ist.

4.3.1 Randbedingungen

Tabelle 1: Randbedingungen einer spielbasierten VRLE

Anforderung	Priorität	Autor
Es muss eine klare Vision der Anwendung geben.	Muss	Bucchiarone
Die Lernumgebung muss eine klare Zielsetzung und einen definierten Anwendungsbereich haben.	Muss	Bucchiarone
Die Entwicklung der Lernumgebung erfordert den Zugang zu Expertenwissen in den Bereichen Gamification, VR und Didaktik.	Muss	Bucchiarone
Das Risiko hoher Beschaffungs- und Entwicklungskosten muss berücksichtigt werden, sowie Kosten für Verwaltung, Wartung und Aktualisierung des Systems.	Muss	Bucchiarone, Dyrna et al.
Die Entwicklung muss zeitliche Beschränkungen berücksichtigen, wie beispielsweise ein festes Abgabedatum oder eine begrenzte Entwicklungszeit.	Muss	Eigene Ergänzung
Die Zielgruppe muss definiert werden.	Muss	Eigene Ergänzung
Bei der Verwendung von externen Inhalten müssen Urheberrechte und Lizenzbestimmungen berücksichtigt werden.	Muss	Eigene Ergänzung
Bei VRLEs für Minderjährige muss der Jugendschutz berücksichtigt werden.	Muss	Eigene Ergänzung

4.3.2 Qualitätsanforderungen

Tabelle 2: Qualitätsanforderungen einer spielbasierten VRLE

Anforderung	Priorität	Autor
Die VRLE muss stabil laufen und einen zuverlässigen Betrieb ohne häufige Ausfälle oder Störungen gewährleisten.	Muss	Dyrna et al.
Die Anwendung muss getestet und bei Bedarf angepasst werden.	Muss	Vergara et al.
Die Lernumgebung muss die Sicherheit der Nutzerdaten gewährleisten und den geltenden Datenschutzbestimmungen entsprechen.	Muss	Eigene Ergänzung
Die VRLE muss unter Berücksichtigung der physischen und psychischen Gesundheit der Nutzer gestaltet sein und darf keine gesundheitlichen Risiken bergen.	Muss	Eigene Ergänzung
Die Interaktion mit der VR-Umgebung muss intuitiv, einfach und schnell erlernbar sein.	Muss	Falah et al.
Die VRLE soll realistischer und authentischer als herkömmliches Anschauungsmaterial sein.	Soll	Dyrna et al.
Die Lernumgebung soll eine intuitive Navigation, klare Anweisungen und eine übersichtliche Benutzeroberfläche haben.	Soll	Eigene Ergänzung
Barrierefreiheit für Menschen mit besonderen Bedürfnissen soll gewährleistet sein.	Soll	Eigene Ergänzung
Es kann einen klaren Prozess zur Überwachung und Bewertung der Leistung der Lernanwendung geben.	Kann	Bucchiarone

4.3.3 Technische Anforderungen

Tabelle 3: Technische Anforderungen einer spielbasierten VRLE

Anforderung	Priorität	Autor
Die Verwendung von VR benötigt spezifische Technologien, wie HMDs	Muss	Dyrna et al.
Geeignete Hardware und Software muss ausgewählt werden.	Muss	Vergara et al., Marougkas et al.
Die virtuelle Welt muss modelliert und die Interaktivität programmiert werden.	Muss	Vergara et al.
Während der Entwicklung der Lernumgebung soll das passende Realitätsniveau festgelegt werden.	Soll	Vergara et al.
Der Grad der Benutzerinteraktion soll bestimmt werden.	Soll	Vergara et al.
Es soll eine Einführung in die Bedienung der genutzten VR-Technologie geben.	Soll	Müser et al.
Vorhandene Geräte können benutzt werden, um Zugänglichkeit und Erschwinglichkeit zu unterstützen.	Kann	Falah et al.

4.3.4 Didaktische Anforderungen

Tabelle 4: Didaktische Anforderungen einer spielbasierten VRLE

Anforderung	Priorität	Autor
Die Nutzung und Gestaltung müssen sich an didaktischen Fragen orientieren.	Muss	Dyrna et al.
Die Inhalte müssen passend zur Zielgruppe ausgewählt werden.	Muss	Eigene Ergänzung
Die Komplexität der Aufgaben muss an die Zielgruppe angepasst werden.	Muss	Eigene Ergänzung
Der Einsatz der Anwendung soll den Lehr-Lern-Prozess verbessern und die Erreichung definierter Lernziele ermöglichen.	Soll	Dyrna et al., Vergara et al.
Die Lernumgebung soll das didaktische Potenzial von VR durch hohe Interaktionsmöglichkeiten nutzen.	Soll	Dyrna et al.
Die VRLE soll relevantes Lehrmaterial enthalten.	Soll	Falah et al.
Die VRLE soll detaillierte Aufgabenbeschreibungen und Erläuterungen enthalten.	Soll	Müser et al.
Das Nutzerverhalten kann aufgezeichnet werden.	Kann	Dyrna et al.
Die VRLE kann kurze Tests zur Überprüfung des Verständnisses enthalten.	Kann	Müser et al.

4.3.5 Gamification-Elemente

Tabelle 5: Gamification-Elemente einer spielbasierten VRLE

Anforderung	Priorität	Autor
Die VRLE muss Gamification-Mechanismen wie Punkte, Level, Herausforderungen, Abzeichen, Bestenlisten oder Belohnungen enthalten.	Muss	Marougkas et al., Taş et al.
Verschiedene Schwierigkeitsgrade sollen angeboten werden, um unterschiedliche Lernniveaus zu berücksichtigen.	Soll	Dyrna et al., Müser et al.
Die VRLE kann Personalisierungstechniken in VR-Umgebungen für ein adaptives Lerndesign nutzen, um ein maßgeschneidertes Lernerlebnis zu schaffen.	Kann	Marougkas et al.
Es kann regelmäßig Feedback zum Fortschritt der Leistungen gegeben werden, um die Motivation aufrechtzuerhalten und den Lernprozess zu optimieren.	Kann	Taş et al.
Möglichkeiten zur sozialen Interaktion können integriert werden, um Zusammenarbeit, Wissensaustausch und gegenseitige Unterstützung zu fördern.	Kann	Taş et al.

5 Konzepterstellung

Die erstellte Liste der Anforderungen aus *Kapitel 4: Anforderungen* wird als Grundlage für die Konzepterstellung genommen. Konkrete Randbedingungen des Prototyps der Bachelorarbeit werden identifiziert und Qualitätsanforderungen werden betrachtet. Geeignete Hard- und Software wird in einem technischen Konzept aufgeführt. Aus den didaktischen Anforderungen entsteht ein didaktisches Konzept, bei dem der Lernansatz, der Aufbau der Lernumgebung, Lerninhalte und die Lernziele zum Thema Trinkwasser betrachtet werden. Wie in *Kapitel 4.3 Kategorisierung der Anforderungen* beschrieben, implementiert diese Arbeit nur einige der Anforderungen.

Im Zuge der Konzepterstellung wird untersucht, welche Elemente sich für die spielerische Vermittlung von Lerninhalten zum Thema Trinkwasser eignen (Forschungsfrage 2). Das Vermitteln bezieht sich auf die Darstellung der Lerninhalte in der VRLE. Auf Basis dieser Erkenntnisse wird ein Gamification-Konzept für die VRLE erstellt.

Mit den Ergebnissen werden im letzten Schritt konkrete Stationen für die VRLE vorgestellt. Anschließend wird das Konzept in *Kapitel 6: Prototypentwicklung* umgesetzt.

5.1 Randbedingungen

Die Vision der Anwendung ist eine funktionsfähige VRLE, welche zum Thema Trinkwasser sensibilisiert. Der Prototyp soll das Potenzial von VR nutzen, indem er eine Vielzahl interaktiver Elemente bereitstellt und so das Lernen mit Interaktion und Immersion verbindet. Durch Gamification-Elemente soll die Anwendung unterhaltsam gestaltet werden, um die Motivation der Schüler zu fördern, sich mit dem Thema Trinkwasser auseinanderzusetzen. Der Prototyp dient vorrangig dazu, die Umsetzung von VR und Gamification für die Wasserbildung zu untersuchen.

Die Zielgruppe sind Schüler der Sekundarstufe I, was den Klassen Fünf bis Zehn entspricht. Obwohl der Prototyp für den Unterrichtskontext entwickelt wird, ist kein tatsächlicher Einsatz oder Test mit Schülern im Rahmen dieser Arbeit vorgesehen. Dennoch werden die Inhalte sorgfältig ausgewählt und auf die Altersgruppe und den Lehrplan abgestimmt. In *Kapitel 5.4.3 Auswahl und Begründung der Lerninhalte* wird genauer auf die Auswahl und Begründung der Lerninhalte eingegangen.

Der zeitliche Rahmen für die Entwicklung ist auf die Dauer der Bachelorarbeit von neun Wochen begrenzt, wovon drei Wochen für die Prototypentwicklung eingeplant sind. Es stehen keine finanziellen Ressourcen für die Umsetzung des Projekts zur Verfügung.

Um rechtliche Aspekte wie Urheberrechte zu berücksichtigen, werden bei der Entwicklung der VRLE ausschließlich 3D-Modelle, Grafiken und andere Inhalte verwendet, die unter Royalty-Free-Lizenzen stehen. Zusätzlich werden weitere benötigte Assets selbst erstellt.

5.2 Qualitätsanforderungen

Die VRLE wird während der Entwicklungsphase in *Kapitel 6: Prototypentwicklung* fortlaufend getestet und angepasst. Eine abschließende Evaluation erfolgt am Ende der Entwicklung.

Die Benutzerfreundlichkeit und intuitive Interaktionen werden durch den Einsatz des XR Interaction Toolkits [39] von Unity [21] unterstützt. Dieses Toolkit ermöglicht beispielsweise die Gestaltung intuitiver Interaktionen durch die Nutzung eines Affordance-Systems. Dieses Konzept beschreibt, wie Objekte ihre möglichen Interaktionen visuell oder anderweitig kommunizieren. Das Affordance-System hebt durch haptisches und visuelles Feedback hervor, mit welchen virtuellen Objekten man interagieren kann.

Der Schutz der Gesundheit der Nutzer wird durch die Implementierung von Teleportation und sanften Bewegungen innerhalb der VRLE sichergestellt. Zusätzlich bietet das Abdunkeln der Bildschirmränder bei schnellen Drehungen Schutz vor Übelkeit und Desorientierung. Diese Maßnahmen dienen der Vorbeugung von Bewegungskrankheit, ein Risiko, welches in *Kapitel 3.4.3 Bewegungskrankheit* hervorgehoben wird. Die Datenerfassung beschränkt sich auf die für die Nutzung der VR-Technologie erforderlichen Bewegungsdaten.

5.3 Technisches Konzept

Angesichts des begrenzten Zeitrahmens und der verfügbaren Ressourcen wird auf eine detaillierte, realitätsnahe Darstellung verzichtet. Es wird jedoch darauf geachtet, dass die verwendeten 3D-Modelle, Grafiken und andere Inhalte ein stimmiges Gesamtbild

ergeben. Der Fokus wird auf die Interaktivität der VRLE gelegt, im Gegensatz zu passiven oder explorativen Ansätzen.

Die VRLE wird für den Einsatz mit HMDs entwickelt, wobei das bereits vorhandene HTC Vive [23] für die Entwicklung und das Testen genutzt wird. Als Grundlage für die Entwicklung dient außerdem die Game Engine Unity [21] in Verbindung mit dem XR Interaction Toolkit [39]. Zum Erstellen und Anpassen von 3D Modellen wird die Software Blender [40] benutzt. Eine Einführung in die genutzte VR-Technologie wird durch ein Tutorial in die Lernumgebung integriert, um den Benutzern den Einstieg zu erleichtern. Die Modellierung der virtuellen Welt und die Programmierung der Interaktionen werden in *Kapitel 6: Prototypentwicklung* beschrieben.

5.4 Didaktisches Konzept

Bei der Konzeption der VRLE stehen didaktische Überlegungen im Vordergrund. Dazu gehört der Lernansatz, eine klare Strukturierung der Lernumgebung und die Auswahl passender Lerninhalte und Lernziele.

5.4.1 Lernansatz

Die Lernmethode dieser VRLE basiert auf einem interaktiven und spielerischen Ansatz. Dies wird durch viele Interaktionsmöglichkeiten und den Einsatz von Gamification-Elementen umgesetzt. Die Lernenden sollen sich dadurch aktiv und motiviert mit dem Thema Trinkwasser auseinandersetzen. Dieser Ansatz ist besonders für die Zielgruppe, Schüler der Sekundarstufe I, geeignet, da er auf ihre natürliche Neugier und ihren Spieltrieb eingeht. Klare Ziele und Aufgabenstellungen innerhalb der VRLE unterstützen den Lernprozess zusätzlich.

5.4.2 Aufbau der Lernumgebung

Die VRLE ist in fünf Stationen unterteilt, um eine flexible und modulare Lernumgebung zu schaffen. Jede Station behandelt einen spezifischen Aspekt der Wasserbildung und bietet verschiedene interaktive Lernmöglichkeiten. Diese Aufteilung ermöglicht nicht nur eine Anpassung an den zeitlichen Rahmen, indem bei Bedarf einzelne Stationen weggelassen oder ergänzt werden können, sondern bietet auch nach Abschluss dieser Bachelorarbeit die Möglichkeit, die Lerninhalte weiter auszubauen und zu vertiefen.

5.4.3 Auswahl und Begründung der Lerninhalte

Zunächst werden verschiedene inhaltliche Schwerpunkte zusammengetragen, mit jeweils fünf möglichen Stationen, die für die Zielgruppe und zur Sensibilisierung für Trinkwasser relevant sein können. Die Übersicht ist im *Anhang B: Themenfindung der Stationen und Gamification-Überlegungen* zu finden.

Lehrpläne aus Deutschland der Sekundarstufe I greifen das Thema Wasser in verschiedenen Bezügen auf. Wasser wird als Rohstoff, im Körper oder als Lösungsmittel behandelt [41], [42].

Als konkreter Anhaltspunkt für Trinkwasser werden Themen aus dem Thüringer Lehrplan aufgegriffen [43], besonders Inhalte der Klassenstufe Neun und Zehn aus dem Fach Naturwissenschaften und Technik des Gymnasiums. Hier spiegelt die Themengruppe Wasser im Alltag [44] eine gute Grundlage. Themen wie der Weg vom Grundwasser zum Trinkwasser, Bestandteile und Eigenschaften von Wasser, Trinkwassergewinnung, -aufbereitung, Brauchwasser und Abwasser werden behandelt. Neben dem Lehrplan werden auch weitere wichtige Themen rund um die Wasserbildung betrachtet wie Wasserverschmutzung, -knappheit und -recht.

Die finale Auswahl der Lerninhalte erfolgt in enger Zusammenarbeit mit Prof. Dr.-Ing. Christian Erfurth und dem wissenschaftlichen Mitarbeiter im Waterlab-Projekt, Oliver Sosna. Die verschiedenen inhaltlichen Schwerpunkte werden diskutiert und anhand verschiedener Kriterien bewertet. Primär wird darauf geachtet, dass es für die Umsetzung der Lerninhalte in der VRLE bereits konkrete Ideen gibt. Ebenso wird berücksichtigt, wie rund und abgeschlossen der Themenbereich mit den einzelnen Stationen ist. Themen wie Wasserverschmutzung, -knappheit und -recht wurden zwar diskutiert, jedoch nicht in die finale Auswahl aufgenommen, da diese eine tiefgreifendere Auseinandersetzung erfordern, als es im Rahmen der Bachelorarbeit möglich ist.

Basierend auf diesen Überlegungen fällt die Entscheidung auf den Themenbereich „Fokus auf Trinkwasser“, da hierfür bereits mehrere konkrete Vorstellungen zur Umsetzung vorhanden sind. Zudem ist das Thema abgeschlossen und weist viele Übereinstimmungen mit den Inhalten aus dem Thüringer Lehrplan auf. Die VRLE umfasst schließlich die Stationen Wasserkreislauf, Trinkwasserqualität, Wassergewinnung, -aufbereitung und -verbrauch.

5.4.4 Lernziele

Jede Station ist darauf ausgelegt, spezifische Lernziele zu erreichen und das Verständnis der Schüler für verschiedene Aspekte des Themas Trinkwasser zu stärken.

1) Wasserkreislauf

Der Schüler kennt den Wasserkreislauf in seinen grundlegenden Elementen wie die Sonne, Wolken, Flüsse, Seen, Grundwasser und kann Phasen wie Verdunstung, Kondensation, Niederschlag und Versickerung erklären. Der Schüler erkennt, dass Wasser in einem ständigen Kreislauf zirkuliert.

2) Trinkwasserqualität

Der Schüler kann erklären, welche Faktoren die Trinkwasserqualität beeinflussen. Der Schüler kennt grundlegende Parameter der Trinkwasserqualität und versteht, wie diese überprüft werden.

3) Wassergewinnung

Der Schüler kann verschiedene Methoden der Wassergewinnung vergleichen.

4) Wasseraufbereitung

Der Schüler kann die Funktionsweise von Trinkwasseraufbereitungsanlagen beschreiben und kennt grundlegende Verfahren wie Filterung, Flockung, Desinfektion.

5) Wasserverbrauch

Der Schüler kann den Begriff „Virtuelles Wasser“ erklären und versteht, dass in vielen Produkten Wasser „versteckt“ ist.

5.5 Gamification-Konzept

Das Gamification-Konzept zielt darauf ab, durch den Einsatz spielerischer Elemente das Interesse und die Motivation der Schüler der Sekundarstufe I für das Thema Trinkwasser zu steigern. Dabei dienen die ausgewählten Gamification-Elemente und Interaktionen der Beantwortung der Forschungsfrage 2: Welche Elemente eignen sich, um Lerninhalte zum Thema Trinkwasser spielerisch zu vermitteln? Es wird verdeutlicht, wie spielerische Elemente die Vermittlung von Trinkwasserthemen unterstützen können.

Die Auswahl der Gamification-Elemente und Interaktionen orientiert sich vorrangig an den Lerninhalten der einzelnen Stationen, daran, wie sehr sie in den Rahmen der VRLE passen und an der Machbarkeit der Umsetzung. Dabei werden Interaktionen und Elemente eingesetzt, die speziell auf die Inhalte der jeweiligen Station zugeschnitten sind, als auch welche, die unabhängig von den Stationen integriert werden.

5.5.1 Gamification der einzelnen Stationen

1) Wasserkreislauf

Ein 3D-Modell verdeutlicht die Funktionsweise des Wasserkreislaufs. Der Schüler hat eine Auswahl von Begrifflichkeiten und muss diese in das Wasserkreislaufmodell einordnen. Zu den Begriffen gibt es eine kurze Erklärung der Bedeutung. Bei erfolgreicher Zuordnung wird eine passende Animation abgespielt, die die Bewegung des Wassers verdeutlicht.

Mit der direkten Auseinandersetzung der einzelnen Komponenten des Wasserkreislaufs und dem spielerischen Zuordnen soll das Verständnis für die Zusammenhänge und Prozesse des Wasserkreislaufs gefördert werden.

2) Trinkwasserqualität

Die Bedeutung von sauberem Trinkwasser wird in dieser Station durch einen virtuellen Wassertest vermittelt. Die Schüler entnehmen eine Wasserprobe, tragen sie auf einen Teststreifen auf und werten das Ergebnis aus. Dies ermöglicht, selbstständig zu experimentieren und die Parameter der Trinkwasserqualität kennenzulernen.

3) Wassergewinnung

In einer Landschaft müssen verschiedene Methoden der Wassergewinnung erkannt und markiert werden. Danach wird die jeweilige Gewinnung auf den vorgesehenen Platz eingefügt und an das Wassernetz angeschlossen.

4) Wasseraufbereitung

In dieser Station setzen die Schüler die Bestandteile einer Aufbereitungsanlage wie ein Puzzle zusammen. Dadurch lernen sie die einzelnen Schritte der Wasseraufbereitung kennen und verstehen, wie sauberes Trinkwasser gewonnen wird.

5) Wasserverbrauch

Um den Schülern den Begriff „Virtuelles Wasser“ näherzubringen, klicken die Schüler in einem virtuellen Raum verschiedene Gegenstände an, um deren Wasserverbrauch anzuzeigen. Diese interaktive Aufgabe verdeutlicht den Schülern, wie viel Wasser in alltäglichen Produkten steckt, und sensibilisiert sie für einen verantwortungsvollen Umgang mit der Ressource. Um die Schwierigkeit zu erhöhen, können die Alltagsgegenstände zuerst nach ihrem Wasserverbrauch sortiert werden, bevor dieser gezeigt wird.

Alternativ kann auch hinzugefügt werden, dass ein Salat mit einer begrenzten Menge von Litern Wasser zubereitet werden soll. Der Schüler muss darauf achten, dass er mit der Auswahl der Zutaten in der begrenzten Wassermenge bleibt.

5.5.2 Gamification-Elemente unabhängig von den Stationen

Als Anhaltspunkte zur Auswahl der Gamification-Elemente werden *Tabelle 5: Gamification-Elemente einer spielbasierten VRLE* und *Anhang A, Tabelle 10: Key Elements of Gamification [20, S. 83, Tab. 1]*, genommen. Elemente, die in dem Zeitrahmen als umsetzbar und passend erachtet werden, sind Erzählung oder ein spielerisches Szenario, Feedback-Mechanismen, Fortschrittsverfolgung sowie klare Ziele und Anweisungen.

Aufgrund des begrenzten Zeitrahmens und der verfügbaren Ressourcen werden einige Gamification-Elemente nicht in die VRLE integriert, obwohl sie Mehrwert bieten können. Dazu gehören Überraschungen, Punkte, Level, Ranglisten, Herausforderungen, Wettbewerb, Personalisierung, Kooperation, soziale Interaktion, Schwierigkeitsgrade, Abzeichen und Erfolge.

5.6 Konzept der Stationen

In diesem Kapitel werden die einzelnen Stationen der VRLE vorgestellt, die die in *Kapitel 5.4: Didaktisches Konzept* beschriebenen Lernziele mit den in *Kapitel 5.5: Gamification-Konzept* erklärten spielerischen Elementen verbinden. Es folgt eine detaillierte Beschreibung jeder Station. Ergänzend wird die visuelle Umsetzung vorgestellt. Die technischen Details und die konkrete Umsetzung können von den hier dargestellten Vorschlägen abweichen.

5.6.1 Wasserkreislauf

Der Wasserkreislauf bietet die Einführung in das Thema Trinkwasser. Es wird verdeutlicht, dass Wasser in einem ständigen Kreislauf zirkuliert. Zudem soll das Verständnis der Funktionsweise des Wasserkreislaufs gefördert werden.

Dies geschieht durch ein 3D-Modell, bei dem Elemente an die richtige Stelle zugeordnet werden sollen. Als Grundlage wird *Abbildung 3: Diagramm des Wasserkreislaufs | U.S. Geological Survey [45]* verwendet. Diese Abbildung dient als Inspiration für die Visualisierung und wird in vereinfachter Form umgesetzt. Darüber hinaus werden zusätzliche Elemente ergänzt. Das Wasserkreislaufmodell wird mit Beschriftungen und Animationen der Elemente dargestellt. Um die Elemente ohne Vorwissen zuordnen zu können, werden kurze Erklärungstexte bereitgestellt, die angezeigt werden, wenn der Spieler das Objekt in einen Scanner legt.

Der vereinfachte Wasserkreislauf umfasst Regen, Schnee, Sonne, Ozean, Land, See, Fluss und Gletscher. Die dargestellten Prozesse sind Verdunstung, Kondensation, Versickerung, Transpiration, Oberflächenabfluss, Schmelzwasserabfluss und Grundwasserabfluss. Zusätzlich werden zwei wichtige geologische Schichten dargestellt, der Grundwasserleiter und die grundwasserundurchlässige Schicht.



Abbildung 3: Diagramm des Wasserkreislaufs | U.S. Geological Survey [45]

5.6.2 Trinkwasserqualität

Nach dem Wasserkreislauf lernt der Schüler nun mehr über Trinkwasserqualität. Es werden Faktoren wie pH-Wert, Geruch, Aussehen und verschiedene Bakterienarten im Wasser erklärt.

In einem vereinfachten Labor kann der Schüler verschiedene Wasserproben selbst auf diese Faktoren untersuchen. Mit einem Teststreifen misst er den pH-Wert des Wassers. Unter dem Mikroskop werden Bakterien sichtbar gemacht. Geruch und Aussehen werden durch unterschiedliche Farben veranschaulicht. Der Schüler untersucht die Wasserproben und trägt die Ergebnisse abschließend in einen Fragebogen ein.

5.6.3 Wassergewinnung

Es werden verschiedene Methoden der Wassergewinnung vorgestellt und verglichen. Dazu gehören Quellwasser, Brunnenwasser, Flusswasser sowie Wasser aus Talsperren und Bohrbrunnen. Zunächst identifiziert der Schüler Orte, an denen Wasser gewonnen werden kann. Anschließend platziert er 3D-Modelle der verschiedenen

Wassergewinnungsanlagen an den passenden Stellen. Als Abschluss verbindet der Schüler die eingebauten 3D-Modelle mit dem Wassernetz.

5.6.4 Wasseraufbereitung

Um das Verständnis für die Wasseraufbereitung zu vertiefen, baut der Schüler ein Modell einer Trinkwasseraufbereitungsanlage nach. Wie bei einem Puzzle fügt er die einzelnen Komponenten an der richtigen Stelle zusammen. Sobald ein Bauteil korrekt platziert ist, werden weitere Details dazu eingeblendet. Dabei werden Verfahren wie Filterung, Flockung und Desinfektion erläutert. Sind alle Puzzleteile richtig zusammengesetzt, ist die Anlage funktionsfähig und der Schüler kann die einzelnen Schritte zur Herstellung von sauberem Trinkwasser nachvollziehen. Mögliche Bestandteile der Trinkwasseraufbereitungsanlage sind Sieb, Flockungsanlage, Sedimentationsbecken, Filteranlage, Desinfektionsanlage, Aktivkohlefilter und Reinwasserspeicher. Optional können auch eine Entsäuerungs- und Enthärtungsanlage ergänzt werden.

5.6.5 Wasserverbrauch

Um einen Rahmen um das Thema Trinkwasser zu schließen, wird in der letzten Station über den Wasserverbrauch aufgeklärt. Ziel ist es, den Schülern die Bedeutung von Wasser bewusst zu machen. Hierzu wird das Konzept des „Virtuellen Wassers“ eingeführt, welches verdeutlicht, dass für die Herstellung von Produkten eine oft unterschätzte Menge Wasser benötigt wird.

Zur Veranschaulichung werden Alltagsgegenstände in einem Zimmer gezeigt, darunter eine Flasche Wasser, Kleidung, Möbel und technische Geräte. Die Schüler identifizieren diese Objekte durch Anklicken und ordnen sie anschließend nach ihrem geschätzten Wasserverbrauch.

5.6.6 Ergänzende Elemente

Neben den Stationen wird es weitere Gamification-Elemente geben. Diese sind ein spielerisches Szenario, Feedback-Mechanismen, Fortschrittsverfolgung sowie klare Ziele und Anweisungen.

Um das spielerische Szenario der VRLE zu unterstützen, wird die Lernumgebung als Labor gestaltet. Die Laborumgebung wurde gewählt, um an die Erfahrungen der Schüler mit Experimenten im Schulkontext anzuknüpfen. Diese Umgebung soll die Schüler dazu

ermutigen, in der VRLE selbstständig zu experimentieren und so ihr Wissen zu vertiefen. Der Spieler schlüpft in die Rolle eines Wissenschaftlers, der die Aufgabe hat, Trinkwasser herzustellen. Die Aufgabe dient als roter Faden, der die Spieler durch die verschiedenen Stationen führt und den inhaltlichen Zusammenhang verdeutlicht.

Zudem wird ein Tutorial zu Beginn der VRLE zur Handhabung der Navigation und Interaktionen integriert.

6 Prototypentwicklung

Dieses Kapitel beschreibt die erfolgreiche Umsetzung der ersten Station „Wasserkreislauf“, deren Konzept in *Kapitel 5: Konzepterstellung* vorgestellt wurde. Ein Link zu dem Unity-Projekt ist in *Anhang C: GitHub-Repository* zu finden. Die Entwicklung der weiteren Stationen wurde aufgrund zeitlicher und ressourcenbedingter Einschränkungen zurückgestellt. Es wurden alle definierten Gamification-Elemente der Station und die ergänzenden Gamification-Elemente umgesetzt.

Die Beschreibung der Entwicklungsumgebung, der verwendeten Skripte und 3D-Modelle ermöglicht ein tieferes Verständnis der technischen Umsetzung und bietet eine solide Grundlage für die zukünftige Weiterentwicklung des Prototyps. So können beispielsweise die restlichen Stationen ergänzt werden.

6.1 Entwicklungsumgebung

Die Entwicklung des Prototyps erfolgt mit der Game Engine Unity [21] in der LTS-Version 2022.3.5f1. Diese Version ist zum Zeitpunkt der Entwicklung die aktuelle Langzeit-Support-Version und bietet somit eine hohe Stabilität und Kompatibilität. Unity bietet eine umfassende Entwicklungsumgebung für VR-Anwendungen und ermöglicht die einfache Integration von Assets, Skripten und Interaktionen.

Um die Entwicklung der VR-Interaktionen zu erleichtern, kommt das XR Interaction Toolkit [39] zum Einsatz. Dieses Toolkit bietet eine Sammlung von vorgefertigten Komponenten und Skripten, die die Implementierung von gängigen VR-Interaktionen wie Greifen, Bewegen und Aktivieren von Objekten erheblich vereinfachen.

Als Grundlage für das Projekt dient das VR-Core-Template, welches eine vorkonfigurierte Umgebung für VR-Projekte in Unity bereitstellt. Dieses Template beinhaltet bereits grundlegende Funktionen wie die Steuerung der VR-Kamera, die Interaktion mit VR-Controllern und die Teleportation innerhalb der virtuellen Umgebung.

Das Unity-Projekt ist in verschiedene Ordner unterteilt. So werden beispielsweise die 3D-Modelle im Ordner „Models“, die Materialien im Ordner „Materials“ und die Skripte im Ordner „Scripts“ abgelegt. Die Skripte für die Steuerung der interaktiven Elemente, das Abspielen von Animationen und die Fortschrittsanzeige werden in C# geschrieben und

mit Visual Studio Code [46] bearbeitet. Visual Studio Code ist ein leichtgewichtiger und leistungsfähiger Code-Editor, der sich gut in Unity integrieren lässt.

Zur Erstellung der 3D-Modelle wird Blender [40] verwendet, eine kostenlose und open-source 3D-Grafiksoftware. Blender bietet eine Vielzahl von Werkzeugen zur Modellierung, Texturierung und Animation von 3D-Objekten und ist somit ideal für die Erstellung von VR-Inhalten geeignet. Die Modelle werden im FBX-Format exportiert, um eine nahtlose Integration in Unity zu gewährleisten.

6.2 Tutorial

Zu Beginn der Lernumgebung befindet sich der Spieler in einem Vorraum des Labors, *Abbildung 4: Vorraum mit Tutorial der Steuerung*, in dem er ein Tutorial zur Bedienung der Controller und der grundlegenden Interaktionsmöglichkeiten in der VRLE absolviert. Das Tutorial vermittelt, wie man Objekte greift und bewegt und im Raum navigiert. Zusätzlich wird auf mögliche Schwindelgefühle hingewiesen und erklärt, wie man diese durch die Verwendung der Teleportation oder durch das Aktivieren der Abdunklung der Bildschirmränder vorbeugen kann.

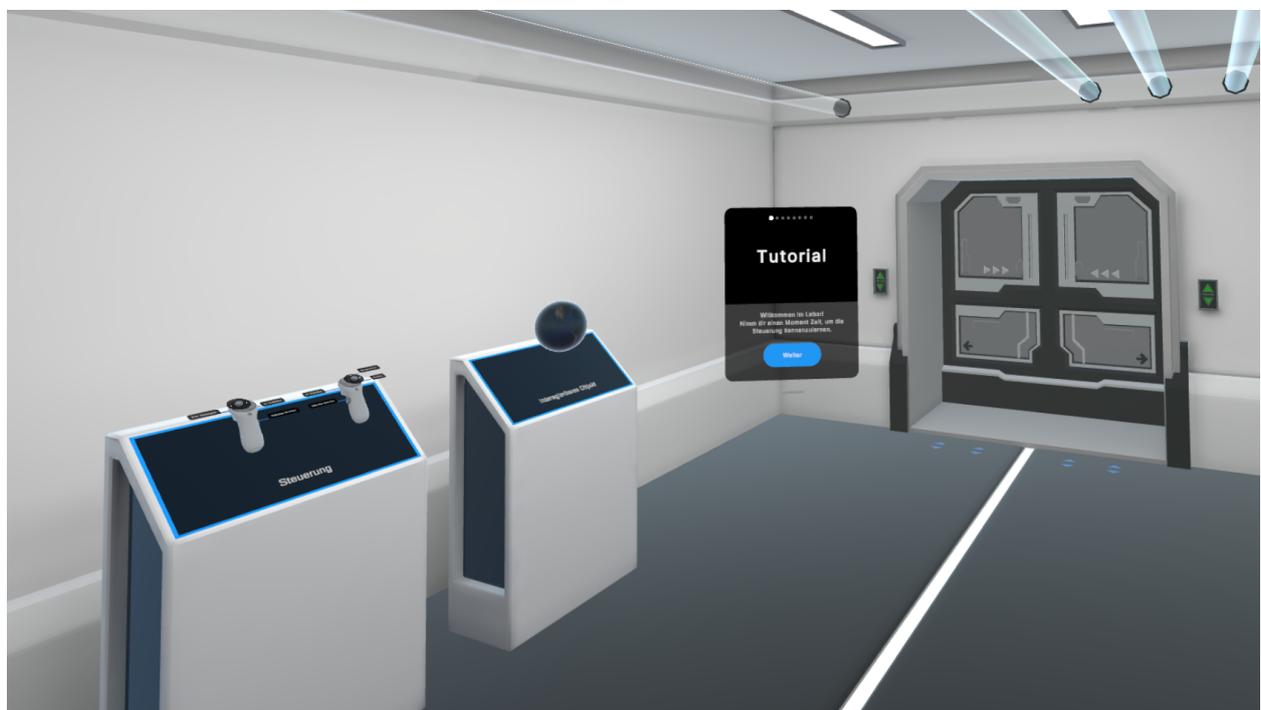


Abbildung 4: Vorraum mit Tutorial der Steuerung

Wenn der Spieler auf seine Hände schaut, sieht er, welche Funktionen die einzelnen Tasten der Controller haben, wie in *Abbildung 5: Erklärung der Steuerung an den Controllern* gezeigt wird. Dadurch verliert man die Steuerungsmöglichkeiten nicht, auch wenn man sie kurzfristig wieder vergisst.



Abbildung 5: Erklärung der Steuerung an den Controllern

6.3 Spielerisches Szenario

Nach dem Tutorial-Raum betritt der Spieler den Hauptraum, dieser ist in *Abbildung 6: Hauptraum des Labors, erste Station „Wasserkreislauf“* zu sehen. Im Hauptraum der VRLE trifft der Benutzer auf einen Roboter, der ihn begrüßt und in das spielerische Szenario einführt. Der Benutzer schlüpft in die Rolle eines Wissenschaftlers, der die Aufgabe hat, Trinkwasser herzustellen. Der Roboter erklärt die Aufgabe, weist den Benutzer auf den Scanner hin und bittet ihn, die Elemente in den Wasserkreislauf einzuordnen. In der Mitte des Raumes befindet sich das Modell des Wasserkreislaufs.

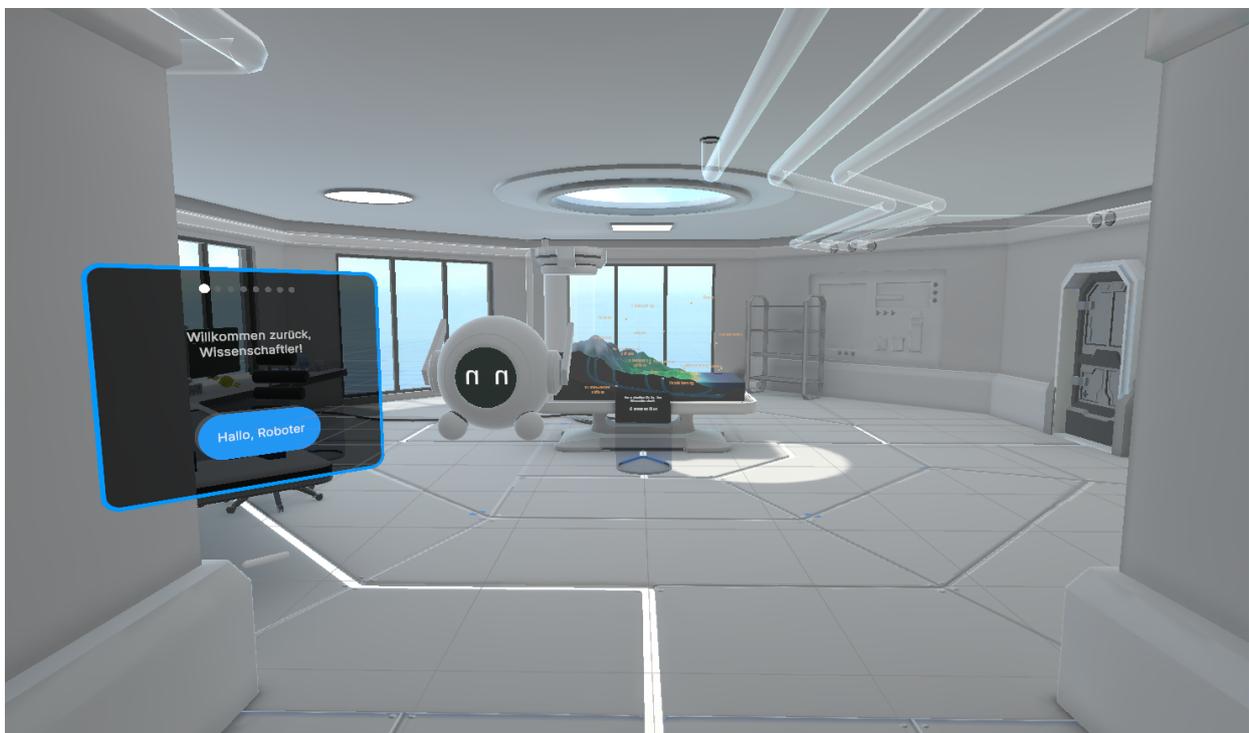


Abbildung 6: Hauptraum des Labors, erste Station „Wasserkreislauf“

Wenn der Spieler weiter in den Raum hinein geht, kann er den Arbeitsbereich, in *Abbildung 7: Arbeitsbereich mit Elementen des Wasserkreislaufs, Einstellungen und Scanner*, entdecken. Auf dem Arbeitstisch liegen die interaktiven Elemente, welche in den Wasserkreislauf einsortiert werden sollen. Um den Fortschritt des Benutzers im Wasserkreislaufmodell visuell darzustellen, gibt es eine Fortschrittsanzeige am Modell. Zudem füllen sich die Rohre in der Umgebung Stück für Stück mit Wasser, wenn die Elemente korrekt platziert werden, um den Fortschritt weiter zu verdeutlichen.

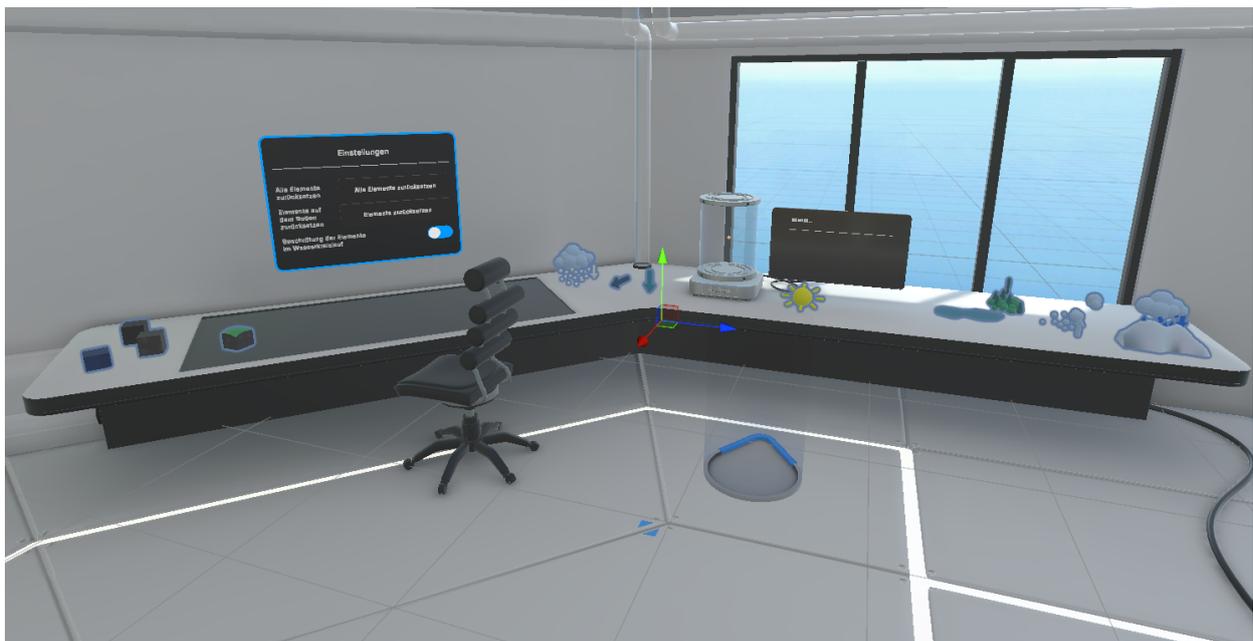


Abbildung 7: Arbeitsbereich mit Elementen des Wasserkreislaufs, Einstellungen und Scanner

Der Scanner, welcher von dem Roboter erwähnt wird, befindet sich auf dem Tisch neben den Elementen. Mit diesem können die Spieler mehr über die einzelnen Elemente des Wasserkreislaufs lernen. Das Skript „ScannerInteractableAcceptorScript.cs“ auf dem Scanner sorgt dafür, dass der Beschreibungstext des jeweiligen Elements auf dem Bildschirm angezeigt wird, sobald es in den Scanner eingesetzt wird. Der Scanner wird in *Abbildung 8: Struktur des Scanners in Unity* gezeigt. Wie Elemente in den Scanner gesetzt werden können, wird näher in *Kapitel 6.5 Interaktive Elemente* erklärt.

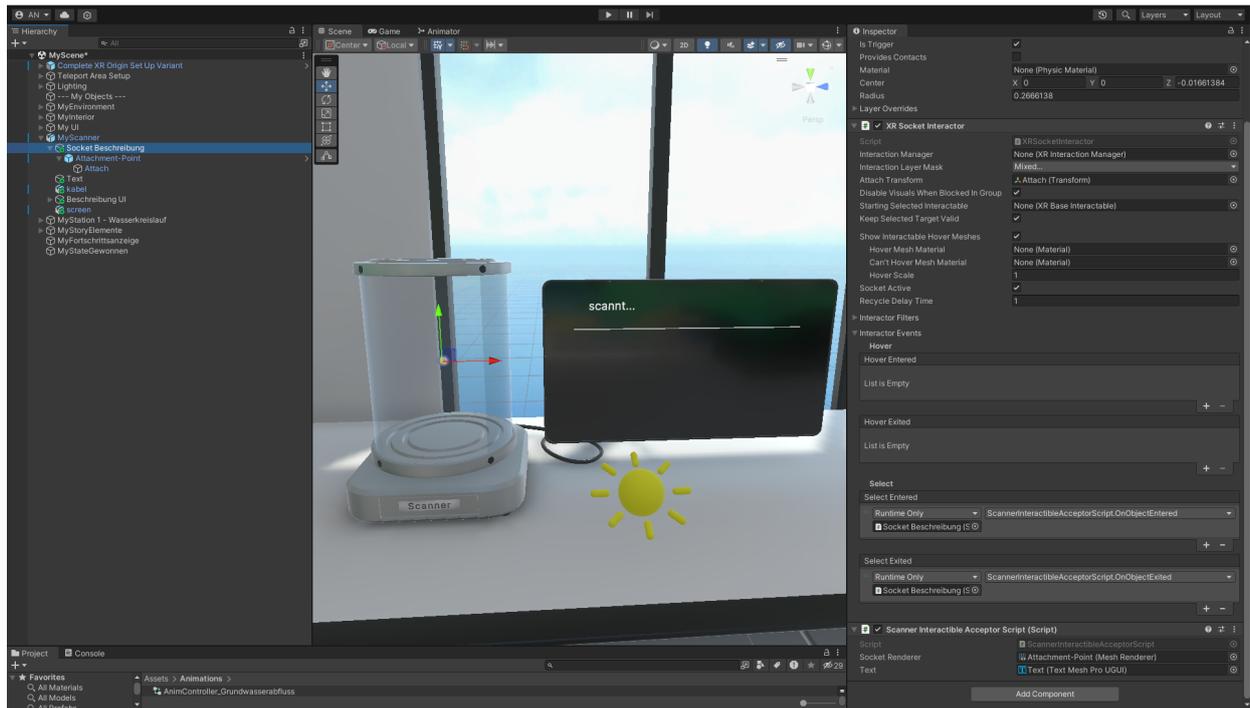


Abbildung 8: Struktur des Scanners in Unity

Wenn alle Elemente richtig in das Modell des Wasserkreislaufs eingesetzt werden, wird das „GewonnenScript.cs“ ausgelöst. Dieses Skript versetzt den Roboter an eine andere Stelle, welcher dann das nächste Thema, die Trinkwasserqualität, einleitet und vorerst auf das Ende des Prototyps hinweist.

Für die Entwicklung der VRLE werden sowohl eigens erstellte als auch externe 3D-Modelle verwendet. Die Umgebung, bestehend aus dem Labor mit Arbeitsplatz, Rohren und Möbeln, sowie der Roboter, wird eigens in Blender erstellt. Einzelne Bestandteile der Umgebung, wie beispielsweise Stuhl und Türen, werden extern bezogen. Diese externen Assets sind im GitHub-Repository in *Anhang C* mit entsprechender Quellenangabe hinterlegt.

6.4 Wasserkreislauf

Der Wasserkreislauf und die dazugehörigen 14 interaktiven Elemente werden vollständig in Blender modelliert und texturiert. Einige der interaktiven Elemente werden zusätzlich animiert, um den Wasserkreislauf anschaulicher zu gestalten. Diese Animationen werden ebenfalls in Blender erstellt und als FBX-Dateien mit eingebetteten Animationen in Unity importiert.

Bei der Texturierung der 3D-Modelle wird auf eine klare und einfache Gestaltung geachtet. Um das Modell des Wasserkreislaufs hervorzuheben, wird anstelle von diskreten Farben Farbverläufe verwendet. Diese werden durch eine eigens angefertigte Textur in Blender erstellt. Das fertige Modell ist in *Abbildung 9: Der Wasserkreislauf mit Fortschrittsanzeige im Hauptraum* zu sehen.

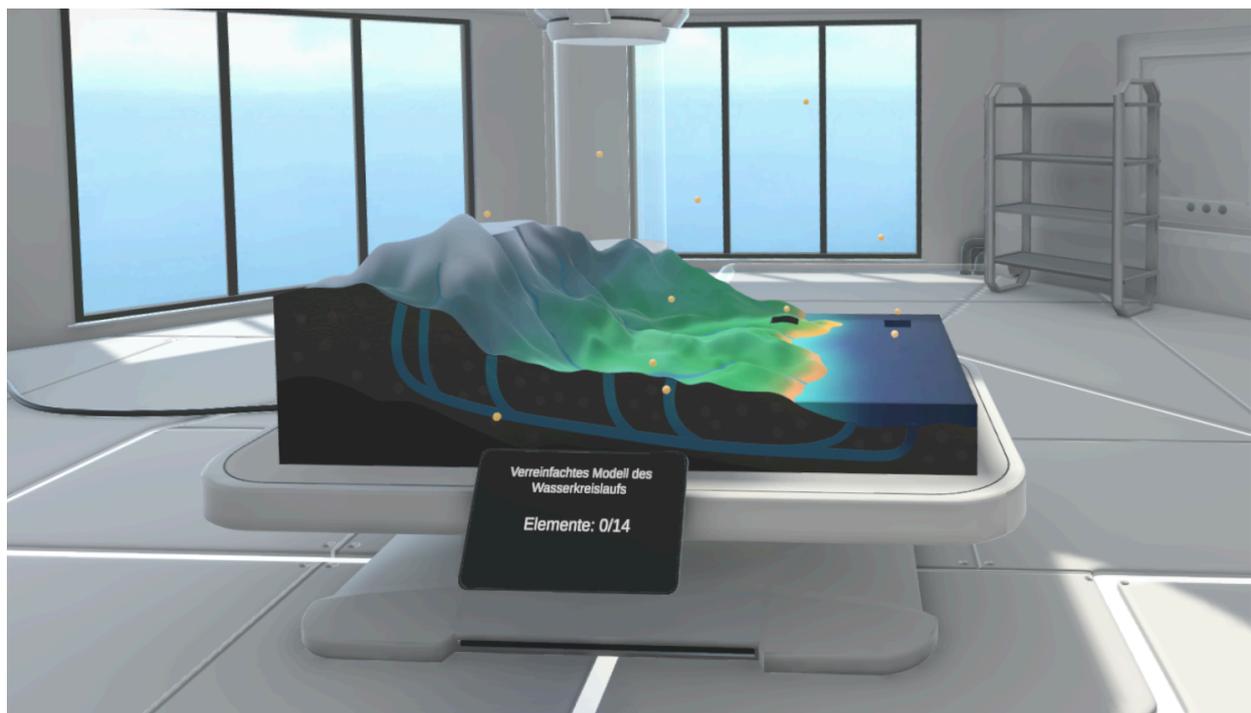


Abbildung 9: Der Wasserkreislauf mit Fortschrittsanzeige im Hauptraum

6.5 Interaktive Elemente

Der Prototyp beinhaltet vierzehn interaktive Elemente, die in das Modell des Wasserkreislaufs eingeordnet werden sollen.

6.5.1 Aufheben und Platzieren Interaktionen

Ein zentrales Element der VRLE ist das Aufnehmen und Einsetzen der interaktiven Elemente. Der Spieler kann die verschiedenen Elemente des Wasserkreislaufs wie Sonne, Regenwolke, See an die entsprechenden Stellen im Wasserkreislaufmodell platzieren.

Diese Interaktion wird mithilfe der „XR Grab Interactable“ und „XR Socket Interactor“ Komponenten aus dem XR Interaction Toolkit implementiert. Die „XR Grab Interactable“ Komponente ermöglicht dem Spieler, die Elemente mit den VR-Controllern zu greifen und zu bewegen. Mit der „XR Socket Interactor“ Komponente werden Platzhalter erstellt. Die Platzhalter sorgen dafür, dass die Objekte an den richtigen Stellen im Modell eingesetzt werden können.

Die Elemente des Wasserkreislaufs können jederzeit in jeden Platzhalter platziert und wieder herausgenommen werden, jedoch gibt es nur einen korrekten Platz für jedes Element. Wenn ein Objekt falsch platziert wird, passiert nichts. Wenn ein Objekt in den zu ihm zugehörigen Platzhalter, also richtig, platziert wird, passiert Folgendes: Die Fortschrittsanzeige am Modell des Wasserkreislaufs zählt mithilfe der „PunkteZaehlen.cs“ und „PunktehochzaehlenScript.cs“ Skripte hoch. Außerdem wird mit dem erfolgreichen Einsetzen die Beschriftung des jeweiligen Elements im Modell angezeigt. Beispielsweise erscheint die Beschriftung „Sonne“, wenn man die Sonne in den richtigen Platzhalter legt und bei dem Einsetzen des Sees werden die Beschriftungen „See“ und „Fluss“ angezeigt. Falls vorhanden, wird auch die Animation des Elements abgespielt, um den entsprechenden Prozess im Wasserkreislauf zu veranschaulichen. So scheint bei dem korrekten Einsetzen die Sonne und die Regenwolke regnet. Diese Aktionen werden durch das eigens erstellte Skript „InteractableScript.cs“ gesteuert, welches die Verknüpfung zwischen dem Element, der Fortschrittsanzeige, der passenden Animation und dem entsprechenden Platzhalter herstellt. Ein funktionierendes interaktives Element in vollem Umfang ist in *Abbildung 10: Die Komponentenstruktur eines interaktiven Elements* zu sehen.

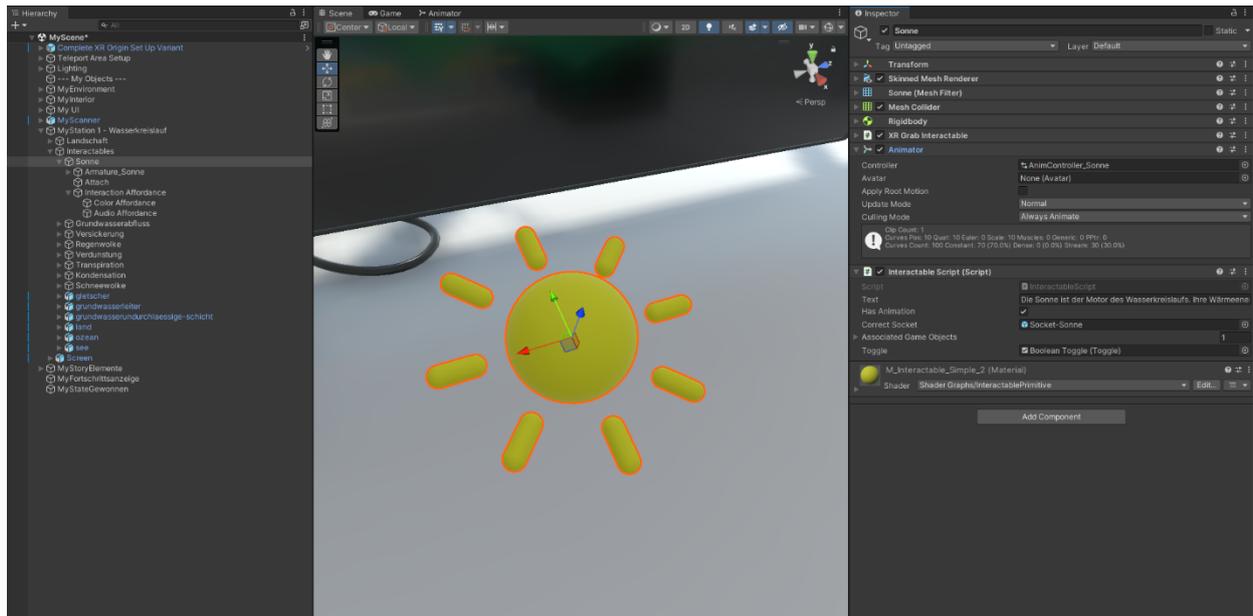


Abbildung 10: Die Komponentenstruktur eines interaktiven Elements

Am Platzhalter ist zusätzlich das Skript „SocketInteractableAcceptorScript.cs“ hinzugefügt. Mit diesem wird das 3D-Modell des Platzhalters deaktiviert, sobald ein Element eingesetzt wird, um das Wasserkreislaufmodell optisch ansprechender zu gestalten. Die Komponenten der Platzhalter sind in *Abbildung 11: Struktur eines Platzhalters, in den Elemente platziert werden können* zu sehen.

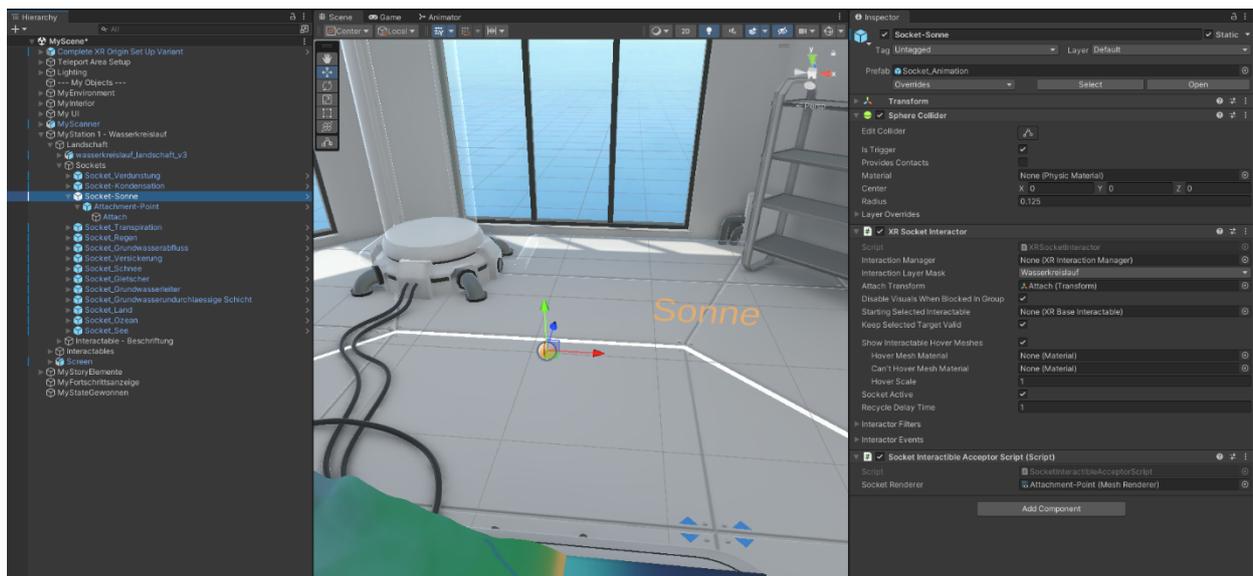


Abbildung 11: Struktur eines Platzhalters, in den Elemente platziert werden können

6.5.2 Intuitive Interaktionsgestaltung

Um die Interaktionsmöglichkeiten intuitiv zu gestalten, kommt ein Affordance-System zum Einsatz, welches in *Kapitel 5.2 Qualitätsanforderungen* erklärt wird. In der VR-Lernumgebung signalisieren die Elemente des Wasserkreislaufs und die Benutzeroberflächen dem Benutzer, dass man mit ihnen interagieren kann. Das XR Interaction Toolkit bietet hierfür die Komponenten „XR Interaction Color Visual“ und „XR Interaction Audio Visual“, welche visuelles und akustisches Feedback geben. Dieses Feedback wird ausgelöst, wenn auf ein Element gezeigt wird, mit welchem interagiert werden kann und wenn mit dem Element durch Knopfdruck direkt interagiert wird. Damit das visuelle Feedback funktioniert, muss dem Material des 3D-Objektes der Shader „InteractablePrimitive“ aus dem XR Interaction Toolkit zugewiesen werden, da dieser Shader die benötigten Variablen enthält. Visuell bekommt das Objekt eine leichte Highlight-Farbe, wenn der Controller darüber bewegt wird.

Zusätzlich ist haptisches Feedback in Form von Controller-Vibrationen implementiert. Diese Vibrationen werden ausgelöst, wenn der Controller über ein interaktives Objekt bewegt wird, und verstärken sich beim Aufheben des Objekts.

6.5.3 Interaktive Tür

Eine Doppeltür trennt das Tutorial im Vorraum mit dem Hauptraum. Wenn der Spieler sich nähert, wird diese automatisch geöffnet. Dies wird durch einen Trigger ausgelöst, der beim Betreten die Animation des Tür-Öffnens auslöst. Der Trigger verwendet das Skript „DoubleDoorTriggerControllerScript.cs“, um die entsprechende Animation zu steuern. Beim Verlassen des Triggers schließt sich die Tür wieder. Der Aufbau der Doppeltür in Unity ist in *Abbildung 12: Interaktive Doppeltür zwischen Vorraum und Hauptraum* dargestellt.

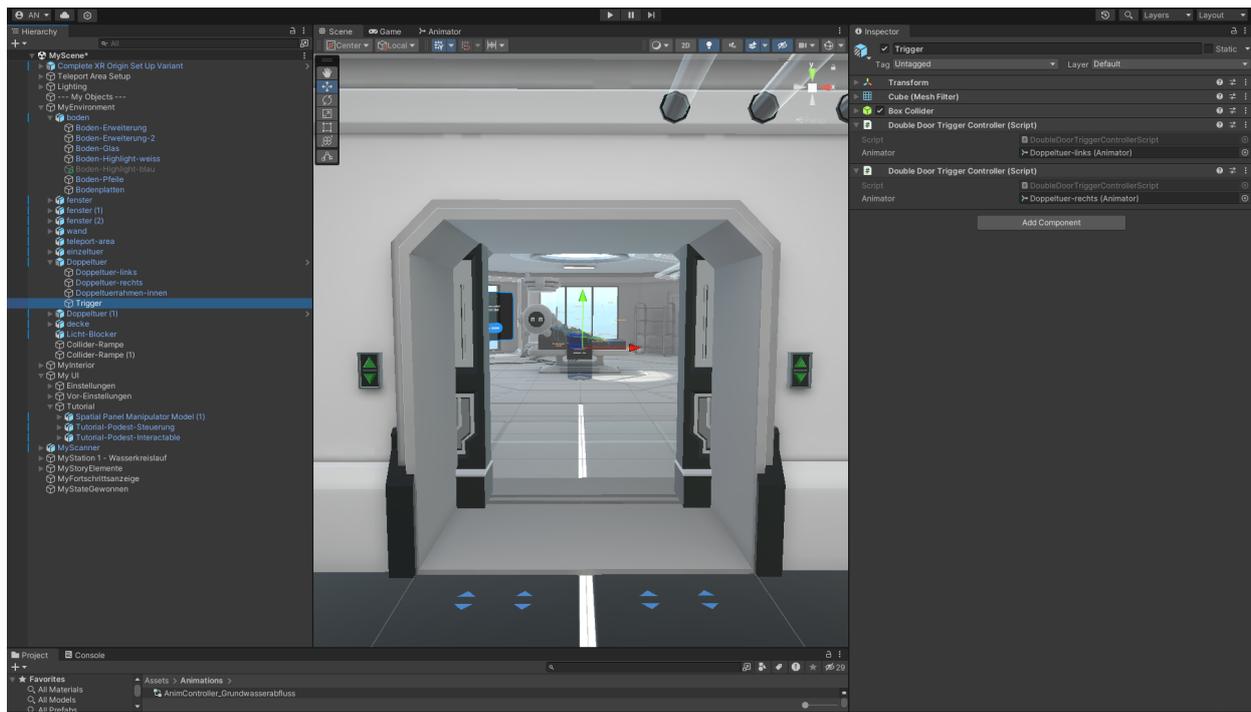


Abbildung 12: Interaktive Doppeltür zwischen Vorraum und Hauptraum

6.6 Benutzereinstellungen

Um die Benutzererfahrung zu optimieren und den individuellen Bedürfnissen der Nutzer gerecht zu werden, werden in die VRLE verschiedene Einstellungsmöglichkeiten integriert. Diese Einstellungen sind über 3D-Menüs zugänglich. Die Menüs enthalten mehrere interaktive Knöpfe oder Schalter, die vom Benutzer mit den VR-Controllern bedient werden können.

Im Vorraum gibt es die Möglichkeit, die Abdunklung der Blickränder zu aktivieren. Durch diese Einstellung werden die Ränder des Sichtfelds bei schnellen Bewegungen und Drehungen abgedunkelt, um mögliche Schwindelgefühle zu reduzieren. Auf diese Einstellung wird im Tutorial hingewiesen.

Im Hauptraum stehen dem Benutzer weitere Einstellungen zur Verfügung. Die Option „Alle Elemente zurücksetzen“ setzt alle Elemente des Wasserkreislaufs auf ihre ursprünglichen Positionen zurück. So kann der Ausgangszustand wiederhergestellt werden. Die Einstellung „Elemente auf dem Boden zurücksetzen“ setzt gezielt nur die Elemente zurück, die sich in keinem Platzhalter befinden. Dies ist besonders nützlich, wenn einzelne Elemente versehentlich verloren gegangen sind. Eine weitere Einstellung ist die Beschriftung der Elemente im Wasserkreislaufmodell. Standardmäßig sind die

Beschriftungen, die bei korrektem Einsetzen eines Elements angezeigt werden, aktiviert. Der Spieler hat aber die Möglichkeit, diese auszublenden, um die visuelle Darstellung des Modells zu ändern. Die Benutzereinstellungen im Hauptraum werden durch das Skript „UIInteractionsScript.cs“ gesteuert.

7 Evaluierung des Prototyps

Zur Evaluation des Prototyps wurde eine Umfrage mit 16 Teilnehmern durchgeführt. Die Umfrage dient dazu, erste Eindrücke zum Prototyp zu gewinnen. Außerdem wird untersucht, ob die Lerninhalte verständlich und spannend dargestellt werden (Forschungsfrage 3). Die Forschungsfrage 3 wird in *Kapitel 7.4.3: Auswertung auf Verständlichkeit und Spannung* beantwortet.

Zur Durchführung der Umfrage wird ein Fragebogen erstellt und ausgewertet. Personenbezogene Daten werden zwar erfragt, jedoch nicht in die Auswertung einbezogen, da der Fokus der Evaluation auf den ersten Tendenzen der Benutzererfahrung liegt, unabhängig von demografischen Merkmalen.

7.1 Fragebogen

Der Fragebogen wird mit LimeSurvey [47] erstellt und besteht aus mehreren Teilen. Der vollständige Fragebogen ist in *Anhang D als Abbildung 17: Fragebogen (erstellt mit LimeSurvey) [47]* zu finden.

Zunächst werden personenbezogene Daten, Geschlecht und Altersgruppe, erfasst. Anschließend folgt der Hauptteil der Umfrage. Um verschiedene Aspekte der Benutzererfahrung zu messen, wird der User Experience Questionnaire (UEQ) [9] eingesetzt. *Abbildung 13: Skalenstruktur des UEQ mit 26 Gegensatz-Paaren, Original [48, S. 3]* zeigt die 26 Fragen des UEQ, welche in sechs Skalen abgedeckt sind. Diese Skalen sind Attraktivität, Durchschaubarkeit, Effizienz, Steuerbarkeit, Stimulation und Originalität.

Die 26 Fragen des UEQ werden durch Gegensatzpaare formuliert, die jeweils die Endpunkte einer sieben-stufigen Skala darstellen. Die Befragten geben auf dieser Skala an, inwieweit sie den Aussagen zustimmen. Beispielsweise wird die Attraktivität eines Produkts unter anderem durch die Gegensatzpaare „unerfreulich – erfreulich“ und „gut – schlecht“ erfasst. Ein Beispiel der Skala ist in *Abbildung 14: UEQ sieben-stufige Skala mit den Gegensatzpaaren „langweilig – spannend“ und „gut – schlecht“* abgebildet.

Attraktivität	Durchschaubarkeit
unerfreulich – erfreulich gut – schlecht abstoßend – anziehend unangenehm – angenehm attraktiv – unattraktiv sympathisch – unsympathisch	unverständlich – verständlich leicht zu lernen – schwer zu lernen kompliziert – einfach übersichtlich – verwirrend
Effizienz	Stimulation
schnell – langsam ineffizient – effizient unpragmatisch – pragmatisch aufgeräumt – überladen	wertvoll – minderwertig langweilig – spannend uninteressant – interessant aktivierend – einschläfernd
Steuerbarkeit	Originalität
unberechenbar – berechenbar behindernd – unterstützend sicher – unsicher erwartungskonform – nicht erwartungskonform	kreativ – phantasielos originell – konventionell herkömmlich – neuartig konservativ – innovativ

Abbildung 13: Skalenstruktur des UEQ mit 26 Gegensatz-Paaren, Original [48, S. 3]

	1	2	3	4	5	6	7	
langweilig	<input type="radio"/>	spannend						
gut	<input type="radio"/>	schlecht						

Abbildung 14: UEQ sieben-stufige Skala mit den Gegensatzpaaren „langweilig – spannend“ und „gut – schlecht“

Ergänzend zu den 26 Fragen des UEQ wird ein weiteres Gegensatzpaar „immersiv – nicht immersiv“ hinzugefügt, um die spezifische VR-Erfahrung des völligen Eintauchens in eine Umgebung zu erfassen.

Nach dem UEQ folgen offene Fragen, die sich konkret auf die Bachelorarbeit und die Erfahrung mit der VRLE beziehen. Die Fragen wurden aus den Anforderungen abgeleitet. In *Tabelle 6: Offene Fragen zur Evaluation des Prototyps* sind die offenen Fragen aufgeführt, die im Rahmen der Evaluation gestellt wurden.

Tabelle 6: Offene Fragen zur Evaluation des Prototyps

Offene Fragen

Finden Sie, dass die Lernumgebung für Schüler der Sekundarstufe I (5. - 10. Klasse) geeignet ist?

Hat die VR-Lernumgebung Ihr Interesse am Thema Trinkwasser geweckt oder gesteigert?

Was hat Ihnen an der VR-Lernumgebung besonders gut gefallen?

Gab es Aspekte der VR-Lernumgebung, die verbessert werden sollen?

Gab es technische Probleme oder Störungen während der Nutzung der VR-Lernumgebung?

Hatten Sie während der Nutzung der VR-Lernumgebung Beschwerden wie Unbehagen, Augenbelastung oder Schwindel?

Welche ergänzenden Funktionen oder Features würden Sie sich für die VR-Lernumgebung wünschen?

Welche Erwartungen haben Sie an zukünftige VR-Lernumgebungen?

Haben Sie sonstige Anmerkungen?

7.2 Durchführung der Umfrage

Die Umfrage wird mit 16 Teilnehmern unterschiedlichen Alters und VR-Erfahrung durchgeführt. Die ersten Eindrücke des Prototyps werden unabhängig von der eigentlichen Zielgruppe, Schüler der Sekundarstufe I, aufgenommen.

Während der Umfrage werden drei verschiedene VR-Headsets genutzt. Das sind das HTC Vive Pro [23], Oculus Rift S [24] und Meta Quest 3 [49]. Die Wahl der VR-Headsets ergab sich aus der Verfügbarkeit an den unterschiedlichen Orten, an denen die Umfrage durchgeführt wurde. Alle drei Headsets verfügen über die gleichen Funktionen und die Bedienelemente sind an den gleichen Stellen platziert. In der Benutzererfahrung gibt es leichte Unterschiede. Das HTC Vive ist das älteste der drei Modelle und verfügt über Touchpads, die bereits bei sanfter Berührung reagieren, anstelle von Joysticks, wie sie bei Oculus Rift S und Meta Quest 3 vorhanden sind. Oculus Rift S und Meta Quest 3 sind sich in der Bedienung sehr ähnlich, da beide Joysticks verwenden. Zudem bietet die

Meta Quest 3 als neuestes Modell eine höhere Rendereauflösung, sodass das Bild für den Nutzer schärfer erscheint.

Die Teilnehmer haben unterschiedliche Erfahrungsniveaus mit VR-Geräten, von Nutzern ohne Erfahrung bis hin zu erfahrenen Nutzern. Um sicherzustellen, dass alle Teilnehmer die VR-Lernumgebung erfolgreich nutzen können, wird vor dem Testen eine kurze Einführung in die Bedienung der Controller und des Headsets gegeben. Während der Nutzung wird dem Teilnehmer bei Bedarf geholfen. Nach Abschluss der Nutzung füllen die Teilnehmer den Fragebogen aus. Der gesamte Durchlauf, bestehend aus Einführung, Nutzung des Prototyps und Beantwortung des Fragebogens, dauert zwischen 20 und 40 Minuten pro Teilnehmer.

7.3 Beobachtungen während der Umfrage

Die Durchführung der Benutzerumfrage bot die Gelegenheit, wertvolle Beobachtungen über die Interaktion der Teilnehmer mit dem Prototyp zu sammeln. Diese Beobachtungen geben Aufschluss über mögliche Schwierigkeiten und Verbesserungspotenziale, die über das reine Fragebogen-Feedback hinausgehen.

7.3.1 Erfahrungen und Herausforderungen bei der Nutzung des Prototyps

Die Technologie der VR ist den meisten Teilnehmern bekannt. Einige haben jedoch noch keine praktische Erfahrung damit. Dies führt zu unterschiedlichen Herangehensweisen an die Nutzung des Prototyps. Unerfahrene Nutzer haben tendenziell Schwierigkeiten, die Steuerung zu erlernen und vergessen die Bedienung schneller, während erfahrene Nutzer sich besser im Raum orientieren und mit den Elementen interagieren konnten. Unabhängig von der Erfahrungsstufe verbessert sich jedoch bei allen Teilnehmern die Bedienung im Laufe der Nutzung kontinuierlich.

Ein weiterer Aspekt ist die Unsicherheit einiger Teilnehmer bezüglich der nächsten Schritte im Prototyp, beispielsweise beim Übergang vom Tutorial-Raum zum Hauptraum. Zudem zeigt sich, dass viele Teilnehmer sich nicht ausreichend Zeit nehmen, den virtuellen Raum zu erkunden, was zu Verwirrung führt, insbesondere im Hinblick auf die Platzhalter auf der Rückseite des Wasserkreislaufmodells. Diese Beobachtungen werden im Feedback der Teilnehmer bestätigt, die den Wunsch nach mehr Hinweisen zur Erkundung des Raumes und nach zusätzlichem Feedback bei falschen Interaktionen äußern.

7.3.2 Herangehensweise an die Aufgabe

Der im Prototyp integrierte Scanner wurde von den Teilnehmern weniger als erwartet genutzt. Stattdessen werden Platzhalter teilweise zufällig ausprobiert, bis der Platzhalter der richtige war.

7.3.3 Positiver Gesamteindruck der Teilnehmer

Insgesamt geben alle Teilnehmer überwiegend positives Feedback. Einige sind auch positiv von der VR-Erfahrung beeindruckt und äußern ihre Begeisterung. Es gibt keine komplett negativen Erlebnisse, lediglich kleinere Schwierigkeiten mit der Steuerung oder Unklarheiten, wie in *Kapitel 7.3.1: Erfahrungen und Herausforderungen bei der Nutzung des Prototyps* beschrieben wird.

7.4 Auswertung des User Experience Questionnaire

Die im Rahmen der Evaluation erhobenen Daten in *Anhang E, Tabelle 11: Rohdaten des UEQ*, werden mithilfe des vom UEQ-Team bereitgestellten Excel-Tools [50] analysiert. Dieses Tool ermöglicht eine automatisierte Berechnung statistischer Kennwerte, darunter Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen Gegensatzpaare sowie die daraus abgeleiteten Skalenwerte für die sechs UEQ-Skalen. Im GitHub-Repository, *Anhang C*, sind die Excel mit den gesammelten Daten zu finden.

Die Reihenfolge der positiven und negativen Begriffe in den Gegensatzpaaren des UEQ ist zufällig. Hierbei beginnt die Hälfte der Fragen positiv und die andere negativ. Daher wird die ursprüngliche Skala umgewandelt. Die transformierten Daten in *Anhang E, Tabelle 12: Transformierte Daten des UEQ*, gehen von minus drei bis plus drei, wobei plus drei für den positivsten und minus drei für den negativsten Wert steht.

7.4.1 Auswertung der Skalen

In *Tabelle 7: UEQ-Skalen mit Mittelwert und Standardabweichung* und *Abbildung 15: Mittelwert der UEQ-Skalen* sind die Werte der Skalen abgebildet. Eine Auswertung der UEQ-Skalen zeigt, dass der Prototyp von den Nutzern insgesamt sehr positiv wahrgenommen wird. Attraktivität, Stimulation und Originalität schneiden mit Mittelwerten über zwei besonders gut ab. Durchschaubarkeit und Effizienz werden zwar positiv bewertet, zeigen aber Verbesserungspotenzial. Die Steuerbarkeit erreicht mit einem Mittelwert von 1,28 den niedrigsten Wert, wird jedoch insgesamt positiv bewertet.

Die Standardabweichungen geben Aufschluss über die Streuung der Antworten und somit über die Übereinstimmung der Teilnehmer. Die Attraktivität weist mit 0,45 die geringste Standardabweichung auf, was auf eine hohe Übereinstimmung in der Bewertung hinweist. Bei Stimulation (0,64) und Originalität (0,66) sind die Standardabweichungen etwas höher, deuten aber dennoch eine relativ einheitliche Meinung hin. Die höchste Standardabweichung zeigt sich bei der Effizienz (0,87), was auf eine größere Meinungsvielfalt in diesem Bereich hindeutet. Die Standardabweichung der Steuerbarkeit (0,57) liegt im mittleren Bereich, was auf eine moderate Streuung der Meinungen schließen lässt.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass der Prototyp in Bezug auf Attraktivität, Stimulation und Originalität sehr gut abschneidet, während bei Durchschaubarkeit, Steuerbarkeit und Effizienz noch Verbesserungspotenzial besteht.

Tabelle 7: UEQ-Skalen mit Mittelwert und Standardabweichung

UEQ-Skala	Mittelwert	Standardabweichung
Attraktivität	2,36	0,45
Durchschaubarkeit	1,86	0,77
Effizienz	1,44	0,87
Steuerbarkeit	1,28	0,57
Stimulation	2,38	0,64
Originalität	2,19	0,66

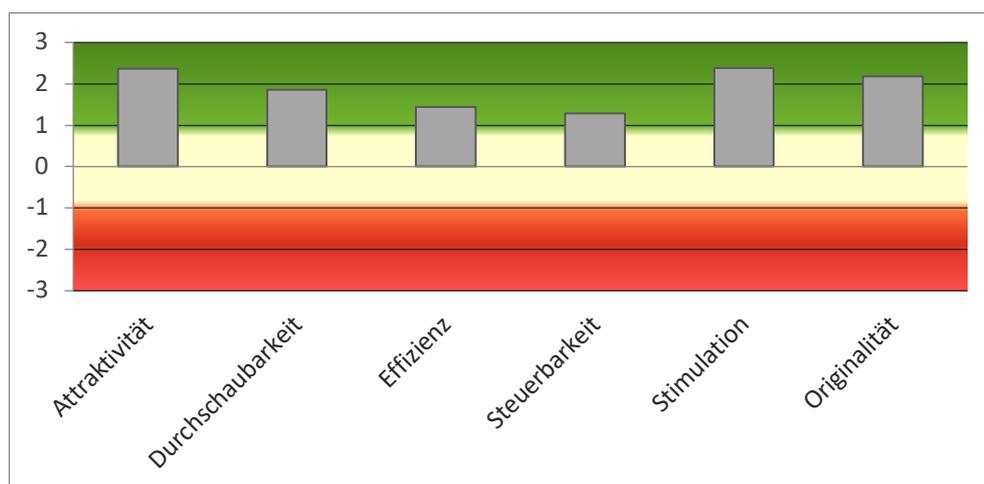


Abbildung 15: Mittelwert der UEQ-Skalen

7.4.2 Verteilung der Antworten pro Gegensatzpaar

Die Verteilung der Antworten pro Gegensatzpaar ist in *Anhang F, Abbildung 18: Verteilung der transformierten Antworten pro Gegensatzpaar*, zu finden. Bei der Mehrheit der Gegensatzpaare konzentrieren sich die Antworten mehrheitlich auf die positiven Bewertungsstufen plus eins bis plus drei. Dies zeigt eine klare Tendenz zur positiven Wahrnehmung des Prototyps.

Bei der Betrachtung vereinzelter Gegensatzpaare fällt jedoch auf, dass die Meinungen sehr verstreut sind oder stark auseinandergehen. Dies kann darauf hindeuten, dass die verwendeten Begriffe möglicherweise unterschiedlich interpretiert wurden. Ein Beispiel hierfür ist in *Abbildung 16: Verteilung der Antworten für das Gegensatzpaar „unberechenbar – voraussagbar“*. Die Antworten für „unberechenbar – voraussagbar“ sich fast gleichmäßig über alle Antwortmöglichkeiten verteilen, was darauf hindeuten kann, dass einige Nutzer „unberechenbar“ im positiven Sinne als überraschend oder spannend interpretiert haben, während andere es negativ als unzuverlässig oder schwer einschätzbar empfanden.

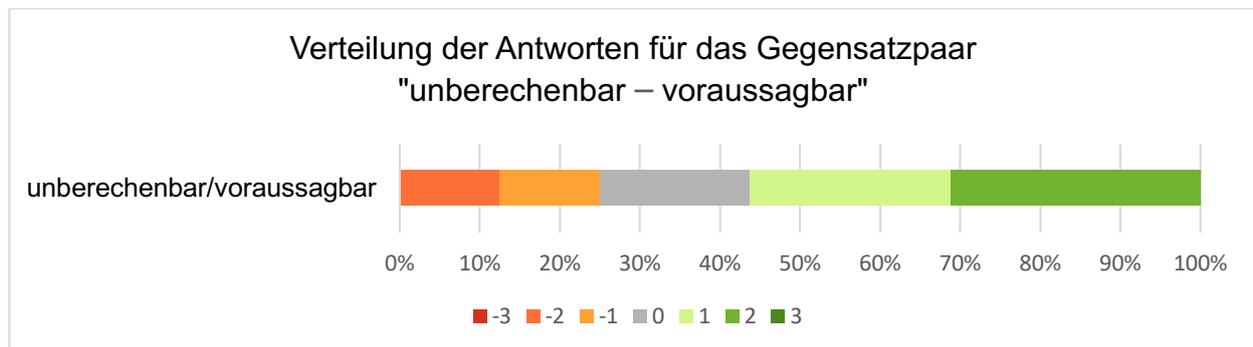


Abbildung 16: Verteilung der Antworten für das Gegensatzpaar „unberechenbar – voraussagbar“

7.4.3 Auswertung auf Verständlichkeit und Spannung

Die Auswertung der in der Umfrage erhobenen Daten zu den Gegensatzpaaren „unverständlich – verständlich“ und „langweilig – spannend“ ermöglicht es, Rückschlüsse auf die Gestaltung verständlicher und spannender Lerninhalte in der VR-Lernumgebung zu ziehen und somit Forschungsfrage 3 zu beantworten. Die Ergebnisse in *Tabelle 8: UEQ-Gegensatzpaare „unverständlich – verständlich“ und „langweilig – spannend“ mit Mittelwert und Standardabweichung* zeigen, dass die Verständlichkeit mit einem Mittelwert von 2,19 und einer Standardabweichung von 0,83 als gut bewertet wurde. Die

Standardabweichung deutet darauf hin, dass es zwar unterschiedliche Grade der wahrgenommenen Verständlichkeit gibt, aber insgesamt eine positive Bewertung vorherrscht. Mit einem Mittelwert von 2,56 und einer Standardabweichung von 0,63 fällt die Bewertung der Spannung positiver als die Verständlichkeit aus.

Tendenziell kann man daher feststellen, dass mithilfe der eingesetzten Gamification die Lerninhalte in der VRLE verständlich und spannend dargestellt werden. Die Kombination aus interaktiven Elementen, spielerischen Herausforderungen und einer immersiven Umgebung scheint das Interesse der Nutzer zu wecken und die Lerninhalte auf eine ansprechende Weise zu vermitteln.

Tabelle 8: UEQ-Gegensatzpaare „unverständlich – verständlich“ und „langweilig – spannend“ mit Mittelwert und Standardabweichung

UEQ-Gegensatzpaar	Mittelwert	Standardabweichung
unverständlich - verständlich	2,19	0,83
langweilig - spannend	2,56	0,63

7.4.4 Auswertung der Immersivität

Bei der Auswertung des UEQ-Gegensatzpaares „nicht immersiv – immersiv“ in Tabelle 9: *UEQ-Gegensatzpaar „nicht immersiv – immersiv“ mit Mittelwert und Standardabweichung* zeigt der Mittelwert von 2,31 deutlich, dass die VR-Lernumgebung von den Nutzern als sehr immersiv wahrgenommen wurde. Die Standardabweichung von 0,70 deutet darauf hin, dass es zwar individuelle Unterschiede in der Wahrnehmung gab, die Mehrheit der Nutzer jedoch ein hohes Maß an Immersion erlebte.

Dieses Ergebnis unterstreicht das Potenzial von VR, eine immersive Lernerfahrung zu schaffen, die die Nutzer in den Lernprozess einbindet und das Gefühl vermittelt, Teil der virtuellen Umgebung zu sein.

Tabelle 9: UEQ-Gegensatzpaar „nicht immersiv – immersiv“ mit Mittelwert und Standardabweichung

UEQ-Gegensatzpaar	Mittelwert	Standardabweichung
nicht immersiv - immersiv	2,31	0,70

7.5 Ergebnisse der offenen Fragen

Alle Antworten der offenen Fragen sind im *Anhang E* in *Tabelle 13: Antworten der offenen Fragen* aufgeführt. Im Folgenden werden die Antworten zu jeder Frage zusammengefasst. Die Fragen sind als Überschriften formatiert.

7.5.1 Finden Sie, dass die Lernumgebung für Schüler der Sekundarstufe I (5. - 10. Klasse) geeignet ist?

Die Mehrheit der Teilnehmer bestätigt die Eignung der Lernumgebung für Schüler der Sekundarstufe I. Ein Teilnehmer weist jedoch darauf hin, dass die Lernumgebung möglicherweise besser für jüngere Schüler geeignet ist, oder dass für ältere Schüler anspruchsvollere Themen behandelt werden sollen.

7.5.2 Hat die VR-Lernumgebung Ihr Interesse am Thema Trinkwasser geweckt oder gesteigert?

Die Antworten auf diese Frage fallen unterschiedlich aus. Während acht von sechzehn Teilnehmer angeben, dass ihr Interesse am Thema Trinkwasser durch die VR-Lernumgebung geweckt oder gesteigert wurde, verneinte dies die andere Hälfte. Einige führen dies darauf zurück, dass sie bereits vor der Nutzung der VR-Lernumgebung Vorwissen oder ein Interesse am Thema hatten.

7.5.3 Was hat Ihnen an der VR-Lernumgebung besonders gut gefallen?

Viele verschiedene Aspekte der Lernumgebung werden genannt. Dazu gehört die Steuerung, die Gestaltung der Lernumgebung und die interaktive Aufgabe. Gelobt werden auch die Animationen im Wasserkreislaufmodell, der Roboter und die Möglichkeit, den Raum frei zu erkunden und spielerisch mit den Elementen zu interagieren.

7.5.4 Gab es Aspekte der VR-Lernumgebung, die verbessert werden sollen?

Die Teilnehmer wünschen sich einen Hinweis beim falschen Einsetzen von Elementen sowie zusätzliche Inhalte zum Wasserkreislauf. Zudem soll die Steuerung mit Joysticks auch bei dem Halten eines Objekts in der Hand möglich sein. Der Roboter soll stärker eingebunden werden, beispielsweise indem er die Aufgabe zeigt, anstatt sie durch Text zu erklären.

7.5.5 Gab es technische Probleme oder Störungen während der Nutzung der VR-Lernumgebung?

Zwölf Teilnehmer geben an, keine Probleme zu haben. Bei drei Teilnehmern treten leichte Probleme mit der Steuerung auf. Zwei Teilnehmer haben auch Probleme mit der Schärfe der VR-Brille.

7.5.6 Hatten Sie während der Nutzung der VR-Lernumgebung Beschwerden wie Unbehagen, Augenbelastung oder Schwindel?

Insgesamt gaben vier Teilnehmern an, während der Nutzung leichte Beschwerden zu haben. Drei Teilnehmer berichten von leichtem Schwindel zu Beginn der Nutzung. Ein Teilnehmer erwähnt zudem Augenbelastung.

7.5.7 Welche ergänzenden Funktionen oder Features würden Sie sich für die VR-Lernumgebung wünschen?

Ein häufig geäußelter Wunsch ist die Ergänzung weiterer Stationen. Aspekte wie Kollaboration und eine stärkere Interaktion mit dem Roboter werden angesprochen, ebenso wie der Einsatz von mehr Audioelementen. Auch wird der Wunsch nach noch spektakuläreren Animationen geäußert, um den „Aha-Effekt“ für Schüler zu verstärken.

7.5.8 Welche Erwartungen haben Sie an zukünftige VR-Lernumgebungen?

Die Erwartungen an zukünftige VR-Lernumgebungen reichen von einer besseren Konzentration jedes Schülers bis hin zu einer noch einfacheren Steuerung und der Darstellung komplexerer Sachverhalte. Auch hier wird der Wunsch nach weiteren Stationen geäußert.

7.5.9 Haben Sie sonstige Anmerkungen?

Einige Teilnehmer äußern sich zu ihren bisherigen Erfahrungen mit VR. Zudem geben vier Teilnehmer explizit an, dass ihnen die Lernumgebung gut gefällt oder dass sie Spaß hatten.

7.6 Feedback-Umsetzung

Basierend auf den Beobachtungen während der Durchführung der Umfrage (*Kapitel 7.3 Beobachtungen während der Umfrage*) und dem Feedback der Teilnehmer (*Kapitel 7.5 Ergebnisse der offenen Fragen*) werden gezielte Anpassungen am Prototyp vorgenommen. Diese Anpassungen zielen darauf ab, die Benutzerfreundlichkeit des Prototyps zu erhöhen, indem sie die Navigation erleichtern, die Aufmerksamkeit auf wichtige Elemente lenken und ein klares Feedback zu den Aktionen des Nutzers geben.

Ein wichtiger Aspekt ist die Unsicherheit einiger Nutzer bezüglich der Navigation im virtuellen Raum. Um dem entgegenzuwirken, wird im Vorraum nach Abschluss des Tutorials ein Hinweis hinzugefügt, der den Benutzer explizit auffordert, durch die Tür in den Hauptraum zu gehen. Ergänzend gibt der Roboter am Ende des Einführungsszenarios den Hinweis, sich im Raum umzusehen. Zudem wird die Position des Roboters nach Abschluss der Aufgabe verändert. Anstatt neben der Tür befindet er sich nun direkt neben dem Modell des Wasserkreislaufs, um nicht übersehen zu werden. Zusätzlich wird der Scanner im Hauptraum näher an den Eingangsbereich platziert, um ihn sichtbarer zu machen.

Ein weiterer Aspekt, der verbessert wird, ist das Audio-Feedback bei Interaktionen. Ursprünglich gab es kein direktes Feedback, wenn ein Element falsch in den Wasserkreislauf platziert wurde. Um dies zu ändern, wird ein negativer Ton implementiert, der bei falscher Platzierung abgespielt wird. Bei korrekter Platzierung ertönt jetzt zusätzlich ein positiver Ton, um den Erfolg zu bestätigen.

8 Diskussion

Das abschließende Kapitel dient zur Diskussion der Ergebnisse der vorliegenden Bachelorarbeit. Die Ergebnisse werden zusammengefasst, interpretiert und in den Kontext des aktuellen Forschungsstandes eingeordnet. Dabei werden die Forschungsfragen aufgegriffen und kritisch betrachtet:

Forschungsfrage 1: Was muss bei der Konzeption einer spielbasierten Virtual-Reality-Lernumgebung berücksichtigt werden?

Forschungsfrage 2: Welche Elemente eignen sich, um Lerninhalte zum Thema Trinkwasser spielerisch zu vermitteln?

Forschungsfrage 3: Wie können die Lerninhalte in der Virtual-Reality-Lernumgebung verständlich und spannend dargestellt werden?

Abschließend werden die Einschränkungen der Arbeit aufgezeigt und Vorschläge für weiterführende Forschung gemacht.

8.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

In dieser Bachelorarbeit wurde ein spielbasierter VR-Prototyp zum Thema Trinkwasser entwickelt. Die Konzeption der Lernumgebung basiert auf einer umfassenden Literaturrecherche zu den Anforderungen an VRLEs. Der entwickelte Prototyp wurde anschließend durch eine Benutzerumfrage evaluiert.

Die erste Forschungsfrage untersucht, was bei der Konzeption einer spielbasierten VRLE berücksichtigt werden muss. Die Forschungsfrage wird in Kapitel vier mit einer Literaturrecherche betrachtet. Das Ergebnis ist eine detaillierte Übersicht der vielfältigen Anforderungen einer VRLE. Die Übersicht umfasst Rahmenbedingungen, Qualitäts-, technische-, didaktische- und Gamification-Anforderungen. Diese Sammlung der Anforderungen bildet die Grundlage für die anschließende Konzeption und Entwicklung der VRLE.

In Kapitel fünf wird das Konzept der VRLE vorgestellt. Das Konzept wurde unter Berücksichtigung aller relevanten Anforderungen ausgearbeitet. Mit dem Gamification-Konzept wird Forschungsfrage 2 betrachtet. Das Ergebnis sind fünf ausgearbeitete

Stationen, welche relevante Inhalte zum Thema Trinkwasser mit Unterstützung von Gamification-Elementen vermitteln.

Die erfolgreiche Umsetzung der ersten Station, der Wasserkreislauf, wird in Kapitel sechs beschrieben. Alle definierten Gamification-Elemente der Station sowie die ergänzenden Elemente werden implementiert. Um eine Basis für zukünftige Weiterentwicklung des Prototyps zu schaffen, werden die Bestandteile der VRLE in diesem Kapitel detailliert beschrieben.

Zur Evaluierung des Prototyps wird eine Benutzerumfrage mit 16 Teilnehmern durchgeführt. Ziel dieser Umfrage ist es, erste Eindrücke zum Prototyp zu sammeln. Die Ergebnisse der Umfrage, bestehend aus quantitativen Daten des User Experience Questionnaire (UEQ) und qualitativen Daten aus offenen Fragen, lieferten hierzu wertvolle Eindrücke zur Benutzererfahrung. In diesem Kapitel wird auch die dritte Forschungsfrage betrachtet. Dazu wird die „Verständlichkeit“ und „Spannung“ des Prototyps ausgewertet.

8.2 Interpretation der Ergebnisse

Aufgrund der Tatsache, dass die Umfrage nicht mit der eigentlichen Zielgruppe, den Schülern der Sekundarstufe I, durchgeführt wurde und die Teilnehmerzahl mit 16 Personen relativ gering ist, kann sie nicht als repräsentativ angesehen werden. Die Ergebnisse sollten daher vorsichtig interpretiert und in zukünftigen Studien mit einer größeren und zielgruppenorientierten Stichprobe überprüft werden.

Forschungsfrage 1 führte zur Erstellung einer Anforderungsliste, die als Grundlage für weitere Forschung dienen kann. Hierbei ist es wichtig zu bedenken, dass jedes VRLE-Projekt einzigartige Ziele, Zielgruppen und Rahmenbedingungen hat. Daher ist es wichtig, die Anforderungsliste kritisch zu prüfen und an die spezifischen Bedürfnisse des jeweiligen Projekts anzupassen. Die Liste sollte daher als erster Ansatzpunkt und nicht als umfassendes Handbuch betrachtet werden. Der Austausch mit Experten aus verschiedenen Bereichen kann helfen, die Liste zu verfeinern und sicherzustellen, dass sie den individuellen Projektanforderungen gerecht wird. Zudem entwickelt sich das Feld der VR und Gamification in der Bildung weiter. Neue Technologien, didaktische Ansätze und Erkenntnisse können dazu führen, dass die Anforderungsliste in Zukunft angepasst oder erweitert werden muss.

Mit Forschungsfrage 2 wurde das Konzept der VRLE entwickelt. Die positiven bis sehr positiven Bewertungen der Umfrage bestätigen die Auswahl der Gamification-Elemente. Jedoch schließt das nicht aus, dass auch andere Gamification-Elemente in dem Kontext erfolgreich sind. Auch die Kombination aus verschiedenen spielerischen Aspekten kann wichtig sein und kann in weiteren Arbeiten noch genauer untersucht werden.

Forschungsfrage 3 wurde durch eine Benutzerumfrage evaluiert. Die Ergebnisse des UEQ zeigen, dass die Lerninhalte in der VRLE als verständlich und spannend wahrgenommen wurden. Allerdings wurde auch beobachtet, dass der Fokus der Nutzer stärker auf der spielerischen Interaktion lag und die inhaltliche Auseinandersetzung in den Hintergrund rückte. Dies deutet darauf hin, dass bei der Gestaltung von spielbasierten Lernumgebungen ein sorgfältiges Gleichgewicht zwischen spielerischen Elementen und inhaltlicher Tiefe gefunden werden muss. Mögliche Verbesserungsansätze könnten Belohnungssysteme für inhaltliche Auseinandersetzung, ein abschließendes Quiz oder Spielmechaniken sein, die eine tiefere Auseinandersetzung mit den Lerninhalten erfordern.

Lampropoulos und Kinshuk zeigen VR und Gamification als neue Lernform auf. Da diese Lernumgebungen interessanter und fesselnder als traditionelle Lernmethoden wahrgenommen werden, können sie die Motivation steigern und zu einem verbesserten Lernprozess führen [7, S. 1751]. Obwohl der Einfluss auf den Lernerfolg nicht explizit untersucht wurde, deuten die positiven Tendenzen der Umfrage auf ein hohes Potenzial zur Steigerung der Lernmotivation hin. Die hohe Bewertung der Originalität unterstreicht das Potenzial von VR als innovative Lernform. Die Auswertung der Umfrage deutet somit darauf hin, dass der Einsatz von VR und Gamification in der Bildung vielversprechend ist, was den aktuellen Forschungsstand unterstützt.

Trotz der Maßnahmen zur Vorbeugung von Bewegungskrankheit (Teleportation und Abdunkeln der Bildschirmränder) treten bei jedem vierten der Teilnehmer leichte Beschwerden auf. Das Ausmaß dieser Beschwerden variierte stark von Person zu Person. Dieser Aspekt wird auch im Forschungsstand in *Kapitel 3.4.3 Bewegungskrankheit* thematisiert und unterstreicht die Notwendigkeit weiterer Forschung bezüglich gesundheitlicher Aspekte in VR-Umgebungen.

8.3 Einschränkung der Arbeit

Die vorliegende Arbeit unterliegt einigen Einschränkungen, die bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden sollten. Aufgrund begrenzter zeitlicher und personeller Ressourcen konnte nur ein Teil des geplanten Prototyps umgesetzt werden.

Die geringe Teilnehmerzahl und die Abweichung von der eigentlichen Zielgruppe schränken die Generalisierbarkeit der Ergebnisse ein. Zudem könnten unterschiedliche VR-Headsets die Vergleichbarkeit der Benutzererfahrungen beeinflusst haben, auch wenn alle Geräte ähnliche Funktionen bieten.

Die gewählte Methodik, bestehend aus Literaturrecherche, Konzeption, Prototypentwicklung und einer abschließenden Benutzerumfrage, ist sinnvoll, um erste Einblicke in das Potenzial von VR und Gamification in der Bildung zu gewinnen und die Forschungsfragen zu beantworten. Ergänzend wäre eine umfassendere Studie mit einer größeren und repräsentativeren Stichprobe sowie einer längeren Testphase wünschenswert, um die Ergebnisse zu validieren und tiefergehende Erkenntnisse zu gewinnen.

Einige Aspekte wurden nicht explizit untersucht, wie der tatsächliche Lernerfolg und die langfristigen Effekte auf Lernen, Motivation und Verhaltensänderungen. Die Evaluation erfasste lediglich die unmittelbaren Eindrücke der Nutzer.

Insgesamt liefern die Ergebnisse dieser Arbeit wertvolle Erkenntnisse, die jedoch im Kontext der genannten Einschränkungen betrachtet werden müssen. Sie bilden eine solide Grundlage für weiterführende Forschung und Entwicklungen im Bereich VR-basierter Lernumgebungen.

8.4 Vorschläge für weiterführende Forschung

Die in dieser Arbeit aufgezeigten Einschränkungen bieten zahlreiche Anknüpfungspunkte für zukünftige Forschungsvorhaben.

Zunächst wäre es empfehlenswert, die Wirksamkeit der vorgenommenen Feedback-Umsetzung zu evaluieren und zu prüfen, ob diese tatsächlich zu einer verbesserten Benutzererfahrung führt.

Eine erweiterte Evaluation mit einer größeren und repräsentativeren Stichprobe, die der Zielgruppe der Schüler entspricht, kann die positiven Ergebnisse dieser Arbeit belegen

oder widerlegen. Insbesondere die Untersuchung der langfristigen Auswirkungen auf den Lernerfolg, die Motivation und das Verhalten der Schüler stellt ein spannendes Forschungsfeld dar, das in zukünftigen Studien vertieft werden kann.

Die Entwicklung von spezifischen Spielmechaniken, die eine tiefere inhaltliche Auseinandersetzung fördern und gleichzeitig den Spielspaß erhalten, stellt eine weitere Möglichkeit für zukünftige Forschung dar.

Eine Implementierung der verbleibenden vier Stationen würde die ganzheitliche Betrachtung des didaktischen Konzepts ermöglichen und eine umfassendere Lernerfahrung zum Thema Trinkwasser bieten. Die Evaluation einer solchen erweiterten VRLE könnte Aufschluss darüber geben, wie sich die verschiedenen Stationen ergänzen und inwieweit sie zum Erreichen der Lernziele beitragen.

Interviews mit Pädagogen bieten eine Möglichkeit zur Verbesserung der VRLE. Ihre Expertise kann wertvolle Einblicke in die didaktische Gestaltung und Umsetzung liefern, um die Lernumgebung noch effektiver und ansprechender zu gestalten. Darüber hinaus wäre es interessant, den Prototyp im realen Schulkontext zu testen, um die praktische Umsetzung und die Akzeptanz bei Lehrern und Schülern zu untersuchen. Dabei könnten auch Aspekte wie die Integration in den Lehrplan, die technische Ausstattung und die Schulung der Lehrkräfte berücksichtigt werden.

Literaturverzeichnis

- [1] „Thüringer Wasser-Innovationscluster“, Thüringer Wasser-Innovationscluster. Zugegriffen: 27. März 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.thwic.uni-jena.de/>
- [2] „Wasser Verstehen und Erklären“, Thüringer Wasser-Innovationscluster. Zugegriffen: 26. März 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.thwic.uni-jena.de/projekte/wasser-verstehen-und-erklaeren>
- [3] „WaterLab“, Thüringer Wasser-Innovationscluster. Zugegriffen: 26. März 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.thwic.uni-jena.de/projekte/waterlab>
- [4] „Menschenrechte | Kurzdarstellungen zur Europäischen Union | Europäisches Parlament“. Zugegriffen: 13. August 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/de/sheet/165/menschenrechte>
- [5] A. Haleem, M. Javaid, M. A. Qadri, und R. Suman, „Understanding the role of digital technologies in education: A review“, *Sustainable Operations and Computers*, Bd. 3, S. 275–285, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.susoc.2022.05.004.
- [6] A. Alnagrat, R. C. Ismail, und S. Z. Syed Idrus, „A Review of Extended Reality (XR) Technologies in the Future of Human Education: Current Trend and Future Opportunity“, *Journal of Human Reproductive Sciences*, Bd. 1, S. 81–96, Aug. 2022, doi: 10.11113/humentech.v1n2.27.
- [7] G. Lampropoulos und Kinshuk, „Virtual reality and gamification in education: a systematic review“, *Educational technology research and development*, März 2024, doi: 10.1007/s11423-024-10351-3.
- [8] D. Checa und A. Bustillo, „A review of immersive virtual reality serious games to enhance learning and training“, *Multimed Tools Appl*, Bd. 79, Nr. 9, Art. Nr. 9, März 2020, doi: 10.1007/s11042-019-08348-9.
- [9] „User Experience Questionnaire (UEQ)“. Zugegriffen: 4. August 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ueq-online.org/>
- [10] P. Milgram, H. Takemura, A. Utsumi, und F. Kishino, „Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum“, *Telem manipulator and Telepresence Technologies*, Bd. 2351, Jan. 1994, doi: 10.1117/12.197321.
- [11] R. T. Azuma, „A Survey of Augmented Reality“, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Bd. 6, Nr. 4, S. 355–385, Aug. 1997, doi: 10.1162/pres.1997.6.4.355.
- [12] D. Kamińska u. a., „Augmented Reality: Current and New Trends in Education“, *Electronics*, Bd. 12, Nr. 16, Art. Nr. 16, Jan. 2023, doi: 10.3390/electronics12163531.
- [13] C. Cruz-Neira, D. J. Sandin, T. A. DeFanti, R. V. Kenyon, und J. C. Hart, „The CAVE: audio visual experience automatic virtual environment“, *Commun. ACM*, Bd. 35, Nr. 6, S. 64–72, Juni 1992, doi: 10.1145/129888.129892.
- [14] A. Amin, D. Gromala, X. Tong, und C. Shaw, „Immersion in Cardboard VR Compared to a Traditional Head-Mounted Display“, in *Virtual, Augmented and Mixed Reality*, S. Lackey und R. Shumaker, Hrsg., Cham: Springer International Publishing, 2016, S. 269–276. doi: 10.1007/978-3-319-39907-2_25.

- [15] J. Pirker und A. Dengel, „The Potential of 360° Virtual Reality Videos and Real VR for Education—A Literature Review“, *IEEE Comput. Grap. Appl.*, Bd. 41, Nr. 4, S. 76–89, Juli 2021, doi: 10.1109/MCG.2021.3067999.
- [16] Bitkom e.V., „Die Zukunft der Consumer Technology 2023“, Aug. 2023, Zugriffen: 6. April 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bitkom.org/sites/main/files/2023-08/bitkom-studie-die-zukunft-der-consumer-technology-2023.pdf>
- [17] F. Laamarti, M. Eid, und A. El Saddik, „An Overview of Serious Games“, *International Journal of Computer Games Technology*, Bd. 2014, Okt. 2014, doi: 10.1155/2014/358152.
- [18] O. Korn, A. Schulz, und B. Hagley, „Gamification: Grundlagen, Methoden und Anwendungsbeispiele“, 2022, S. 43–63. doi: 10.1007/978-3-658-35059-8_4.
- [19] G. Lampropoulos, E. Keramopoulos, K. Diamantaras, und G. Evangelidis, „Augmented Reality and Gamification in Education: A Systematic Literature Review of Research, Applications, and Empirical Studies“, *Applied Sciences*, Bd. 12, Nr. 13, Art. Nr. 13, Jan. 2022, doi: 10.3390/app12136809.
- [20] N. Taş und Y. Bolat, *Digital Games and Gamification in Education*. ISTES Organization, 2023.
- [21] „Echtzeit-Entwicklungsplattform von Unity | 3D, 2D, VR- und AR-Engine“, Unity. Zugriffen: 25. Juni 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://unity.com/>
- [22] „Unreal Engine“, Unreal Engine. Zugriffen: 4. August 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.unrealengine.com/de/home>
- [23] „VIVE Deutschland“. Zugriffen: 25. Juni 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.vive.com/de/>
- [24] „Oculus Rift S“. Zugriffen: 31. Juli 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.oculus.com/rift-s/>
- [25] A. Vrcelj, N. Hoic-Božic, und M. H. Dlab, „Use of Gamification in Primary and Secondary Education: A Systematic Literature Review“, *International Journal of Educational Methodology*, Bd. 9, Nr. 1, S. 13–27, 2023.
- [26] X. Gan, L. Hu, S. Wu, und Y. Xiao, „Research and Analysis of VR in the Field of Education“, *Highlights in Science, Engineering and Technology*, Bd. 72, S. 1126–1133, Dez. 2023, doi: 10.54097/t94dn648.
- [27] P. Dymora, A. Paszkiewicz, M. Bolanowski, M. Salach, G. Budzik, und P. Kubiak, „Methodology of Implementing Virtual Reality in Education for Industry 4.0“, *Sustainability*, Bd. 13, Apr. 2021, doi: 10.3390/su13095049.
- [28] İ. Y. Kazu und M. Kuvvetli, *The Impact of Virtual Reality Technology on Student Engagement and Learning Outcomes in Higher Education*. 2023.
- [29] M. Rojas-Sánchez, P. Palos-Sanchez, und J. Folgado-Fernández, „Systematic literature review and bibliometric analysis on virtual reality and education“, *Education and Information Technologies*, Bd. 28, Juni 2022, doi: 10.1007/s10639-022-11167-5.
- [30] J. Dyrna, M. Liebscher, H. Fischer, und M. Brade, „Implementierung von VR-basierten Lernumgebungen - Theoretischer Bezugsrahmen und praktische Anwendung“, 2020, doi: 10.25656/01:26545.

- [31] J. Radianti, T. A. Majchrzak, J. Fromm, und I. Wohlgenannt, „A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda“, *Computers & Education*, Bd. 147, S. 103778, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.compedu.2019.103778.
- [32] A. Bucchiarone, „Gamification and virtual reality for digital twin learning and training: architecture and challenges“, *Virtual Reality & Intelligent Hardware*, Bd. 4, Nr. 6, Art. Nr. 6, Dez. 2022, doi: 10.1016/j.vrih.2022.08.001.
- [33] D. Vergara, M. P. Rubio, und M. Lorenzo, „On the Design of Virtual Reality Learning Environments in Engineering“, *Multimodal Technologies and Interaction*, Bd. 1, Nr. 2, Art. Nr. 2, Juni 2017, doi: 10.3390/mti1020011.
- [34] C. Frasson, K. Kabassi, und A. Voulodimos, *Novelties in Intelligent Digital Systems*. IOS Press, 2021.
- [35] J. Falah u. a., „Identifying the Characteristics of Virtual Reality Gamification for Complex Educational Topics“, *Multimodal Technologies and Interaction*, Bd. 5, Nr. 9, Art. Nr. 9, Sep. 2021, doi: 10.3390/mti5090053.
- [36] S. Müser u. a., „Konzeption und Evaluation einer virtuellen Lernumgebung für die Hochschullehre“, *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, Bd. 51, S. 345–372, Jan. 2023, doi: 10.21240/mpaed/51/2023.01.24.X.
- [37] Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union, „Verordnung (EU) 2016/679 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. April 2016 zum Schutz natürlicher Personen bei der Verarbeitung personenbezogener Daten, zum freien Datenverkehr und zur Aufhebung der Richtlinie 95/46/EG (Datenschutz-Grundverordnung)“. Zugegriffen: 17. Juni 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX%3A32016R0679>
- [38] K. Pohl und C. Rupp, *Basiswissen Requirements Engineering: Aus- und Weiterbildung zum „Certified Professional for Requirements Engineering“; Foundation Level nach IREB-Standard/ Klaus Pohl; Chris Rupp*. dpunkt-Verlag, 2015.
- [39] „XR Interaction Toolkit | XR Interaction Toolkit | 3.0.4“. Zugegriffen: 25. Juni 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.interaction.toolkit@3.0/manual/index.html>
- [40] B. Foundation, „Blender - Free and Open 3D Creation Software“, [blender.org](https://www.blender.org/). Zugegriffen: 26. Juni 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.blender.org/>
- [41] LIS Bremen, „Bildungsplan Sekundarbereich I - Naturwissenschaften, Biologie, Chemie, Physik“. 2023. Zugegriffen: 3. Juli 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.lis.bremen.de/schulqualitaet/bildungsplaene/sekundarbereich-i-15226>
- [42] Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Familie Berlin, „Rahmenlehrplan für die Sekundarstufe I (Klassen 7-10) - Naturwissenschaften“. 2015. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.berlin.de/sen/bildung/unterricht/faecher-rahmenlehrplaene/rahmenlehrplaene/klasse-1-10/>
- [43] Thüringer Schulportal, „Thüringer Lehrpläne“. Zugegriffen: 1. Juli 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.schulportal-thueringen.de/lehrplaene>

- [44] Thüringer Ministerium für Bildung, Jugend und Sport (TMBJS), „NWuT Wasser im Alltag: Lehrplan-Ausschnitt Modul 2-2-2“. Zugegriffen: 1. Juli 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.schulportal-thueringen.de/web/guest/media/detail?tspi=5211&tspt=%3A%3B%3AbackUrl%3A%3D%3A%2Fmedia%2Fdetail%3Ftspi%3D3702>
- [45] „Diagramm des Wasserkreislaufs - The Water Cycle, German | U.S. Geological Survey“. Zugegriffen: 3. Juli 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.usgs.gov/media/images/diagramm-des-wasserkreislaufs-water-cycle-german>
- [46] „Visual Studio Code - Code Editing. Redefined“. Zugegriffen: 4. August 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://code.visualstudio.com/>
- [47] „LimeSurvey — Free Online Survey Tool“. Zugegriffen: 4. August 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.limesurvey.org/de>
- [48] M. Schrepp, *User Experience Questionnaire Handbook*, 11. Aufl. 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ueq-online.org/Material/Handbook.pdf>
- [49] „Meta Quest 3“. Zugegriffen: 31. Juli 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.meta.com/de/quest/quest-3/>
- [50] „UEQ Analyse Tool“. Zugegriffen: 4. August 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.ueq-online.org/Material/Data_Analysis_Tools.zip

Anhang

A. Elemente der Gamification

Tabelle 10: Key Elements of Gamification [20, S. 83, Tab. 1]

Elements of Gamification	Description
Goals and Objectives	Clearly defined goals and objectives provide direction and purpose for participants.
Points	Accumulating points for completing tasks or reaching milestones can encourage participation.
Badges and Achievements	Rewarding digital badges or achievements acknowledges accomplishments and encourages continued engagement.
Levels	Moving through the levels means progression and mastery, providing a sense of achievement.
Leaderboards	Publicly displayed rankings create competition and increase engagement through comparison.
Challenges	Setting challenges or tasks motivates participants to act and overcome obstacles.
Awards	Tangible or intangible rewards such as discounts, virtual goods, or recognition can increase motivation.
Feedback	Regular feedback keeps participants informed about their progress and encourages improvement.
Narrative or Storytelling	Creating a narrative or story increases engagement by drawing participants into an engaging context.
Competition	Healthy competition increases participation by encouraging participants to outperform others.
Cooperation	Collaborative activities foster a sense of community and teamwork among participants.
Customization	Allowing participants to personalize their experience can increase engagement by giving a sense of ownership.
Progress	Progressing from more straightforward to more complex tasks sustains engagement by offering new challenges.
Instant Satisfaction	Providing quick rewards or acknowledgments for actions encourages continued engagement.
Social Interaction	Integrating social features allows participants to interact, share successes, and collaborate.
Time Pressure	Adding time-based challenges or limited-duration activities can create a sense of urgency and engagement.
Mystery and Surprise	The inclusion of unexpected elements or rewards maintains excitement and curiosity.
Clear Rules and Instructions	Clearly defined rules and instructions ensure clarity and satisfaction.
Feedback Loop	A continuous cycle of action, feedback, and improvement keeps participants engaged.
Progress Tracking	Allowing participants to track their progress visually reinforces their success.
Avatars or Characters	Allowing participants to represent themselves through avatars or characters adds a personal touch.
Virtual Economies	Virtual currencies or economies can encourage behaviors that are desirable to implement.
Real World Impact	Showing how in-game actions translate into real-world impact can motivate participants.
Challenge Scaling	Ensuring that challenges are scaled appropriately to the participant's skill level prevents discouragement.

B. Themenfindung der Stationen und Gamification-Überlegungen

1 Stationen

1.1 Alle möglichen Stationen

- | | |
|--|--|
| 1. Wie viel Wasser bietet die Erde? | 10. Wasserverbrauch (Haushalt und Virtuelles Wasser) |
| 2. Bedeutung von Wasser | 11. Abwasseraufbereitung |
| 3. Wasserrecht | 12. Ursachen für Wassermangel |
| 4. Wasserkreislauf | 13. Auswirkungen Wassermangel (Klimawandel, Bodendegradation, ...) |
| 5. Wassergewinnung | 14. Wasserverschmutzung |
| 6. Wasser Eigenschaften und Bestandteile | 15. Wasserpolitik, Wassermanagement |
| 7. Trinkwasserqualität | 16. Innovative Lösungen Wasserschutz |
| 8. Trinkwasseraufbereitung | |
| 9. Speicherung und Versorgung | |

1.2 Zusammengesetzte Stationen nach Themengebieten

Nach Thüringer Lehrplan

+ An Zielgruppe angepasst

- Unklarheit über Umsetzung (2x Aufbereitung, Bedeutung von Wasser, Bestandteile und Eigenschaften von Wasser)

- (1) Wasserkreislauf und Bedeutung von Wasser
- (2) Bestandteile, Eigenschaften von Wasser, Trinkwasserqualität
- (3) Trinkwasseraufbereitung
- (4) Wasserverbrauch (Haushalt und Virtuelles Wasser)
- (5) Abwasseraufbereitung (Kläranlage)

- (2) Wasser als Recht
- (3) Ursachen für Wassermangel
- (4) Auswirkung Wassermangel auf Umwelt und Gesundheit
- (5) Innovative Lösungen Wasserschutz

Fokus auf Trinkwasser

+ Abgerundetes Thema

- begrenzte Sensibilisierung

- (1) Wasserkreislauf
- (2) Trinkwasserqualität
- (3) Wassergewinnung
- (4) Wasseraufbereitung
- (5) Wasserverbrauch (Haushalt und Virtuelles Wasser)

Wasserversorgung

+ Abgerundetes Thema

- begrenzte Sensibilisierung

- Unklarheit über Umsetzung (2x Aufbereitung, keine Ideen zu Darstellung zu Speicherung & Verteilung)

- (1) Wassergewinnung
- (2) Trinkwasseraufbereitung
- (3) Speicherung & Verteilung
- (4) Wasserverbrauch (Haushalt und Virtuelles Wasser)
- (5) Abwasseraufbereitung

Mischung

+ Relevanz des Themas

+ Vollständigkeit des Themas

- Mehr Aufwand da 6 Stationen

- Oberflächlichkeit (Wassergewinnung, Aufbereitung, Speicherung & Verteilung in einem)

- Unklarheit über Umsetzung (Globale Wasserkrise)

- (1) Bedeutung von Wasser (als Einleitung)
- (2) Wasserkreislauf
- (3) Wassergewinnung, Aufbereitung, Speicherung & Verteilung (sehr oberflächlich)
- (4) Wasserverbrauch (Haushalt und Virtuelles Wasser)
- (5) Globale Wasserkrise (Wassermangel, Verschmutzung)
- (6) Innovative Lösungen Wasserschutz

Globale Wasserkrise

+ Relevanz des Themas

- Ernsthaftigkeit und Tiefe des Themas

- Unklarheit über Umsetzung (Wasser als Recht, Ursachen für Wassermangel, Auswirkung Wassermangel)

- (1) Bedeutung von Wasser

2 Gamification

2.1 Interaktionen an den Stationen

1. Wie viel Wasser bietet die Erde?
Schätzen, wie das Verhältnis von Salz- zu Süßwasser ist. (Darstellung des Verhältnisses als Zylinderinhalte)
2. Bedeutung von Wasser
?
3. Wasserrecht
?
4. Wasserkreislauf
Vereinfachte Simulation eines Wasserkreislaufs. Der Spieler kann die einzelnen Bestandteile selbst aktivieren: u.a. Wasser verdunsten, kondensieren, abregnen und versickern lassen
5. Wassergewinnung
Finden / Anklicken aller Wasserquellen Oder Einsetzen der Wasserquellen in den Wasserkreislauf
6. Wasser Eigenschaften und Bestandteile
?
7. Trinkwasserqualität
Wasserqualität mit Test-Kit untersuchen (1. Probe entnehmen, 2. auf Teststreifen auftragen, 3. Ergebnis auswerten)
8. Trinkwasseraufbereitung
Puzzle: Die Bestandteile einer Aufbereitungsanlage müssen an der richtigen Stelle eingefügt werden Oder Zuordnung: Prozesse müssen den Schritten der Aufbereitung zugeordnet werden (wie Filterung, Flockung, Desinfektion)
9. Speicherung und Versorgung
?
10. Wasserverbrauch (Haushalt, Virtuelles Wasser)
Ausschnitt mehrere Zimmer mit Gegenständen wie: Shirt, Wasserglas, Dusche, Blume, ...
Die Gegenstände leuchten auf und bei Anklicken steht der Wasserverbrauch da, Oder Spieler muss die Gegenstände der Reihenfolge nach sortieren: Welcher Gegenstand verbraucht am meisten Wasser?

11. Abwasseraufbereitung
Wie Trinkwasseraufbereitung
12. Ursachen für Wassermangel
?
13. Auswirkungen Wassermangel (Klimawandel, Bodendegradation, ...)
?
14. Wasserverschmutzung
Quellen für Wasserverschmutzung ausfindig machen (anklicken)
15. Wasserpolitik, Wassermanagement
?
16. Innovative Lösungen Wasserschutz
Darstellung der Lösungen mit 3D-Modellen Zuordnung der Begrifflichkeit zu der 3D Darstellung (oder andersrum)

2.2 Gamification unabhängig der Stationen

Fortschrittsanzeige

Anzeige: 1-5 Punkte, nach jeder Station leuchtet ein weiterer Punkt auf / das ist ein Anzeichen dafür, dass die Station abgeschlossen ist

(optional) Quiz

Nach den Stationen
Schauen was man mitnehmen konnte – zu den jeweiligen Themen 1-2 Fragen (z.B. Wie viel Wasser steckt in einem Hamburger? Wie lange kann ein Mensch ohne Wasser überleben?)

(optional) Punkte

Punktstand – noch unklar, wie man die Punkte sammelt
Man könnte auch im Raum Sticker verstecken und diese können gesammelt werden... (aber eher unpassend, kein Zusammenhang zum Thema)

(optional, Komplex) Schwierigkeitsgrad

Hilfestellungen aus- und einblenden

(optional, Komplex) Erzählung

Lernprozess anhand einer Geschichte (unklar, was für eine Geschichte)

**(optional, Komplex) Sofortige Befriedigung
(schnelles Belohnen oder Anerkennen von
Handlungen)**

Unklare Umsetzung

**(optional, Komplex) Geheimnis und
Überraschung (unerwartete Elemente)**

Wenn es zum Thema Krise übergeht, könnte das Licht sich Rot färben und eine Alarmanlage losgehen – unerwartet und Veranschaulichung der Dringlichkeit

**(optional, Komplex) Auswirkungen auf die
reale Welt**

Wenn eine Station beendet wurde, verändert sich die Umgebung entsprechend
(einfach) Zum Beispiel kann an einer Wand etwas ergänzt werden
(umständlich) Oder die Komplette Szenerie ändert sich

2.3 Anderes aus den Anforderungen

Tutorial zur Handhabung der Controller

Vereinfacht als Wandposter (Bedienung der Controller, Umherblicken, Teleportation oder Laufbewegung)

Evtl. ein Beispiel zum Testen am Anfang

Klare Ziele und Vorgaben (Spieler weiß jederzeit was er zu tun hat und wieso)

Umsetzung durch klare Aufgabenstellungen und evtl. Erzählung, wieso man was machen soll.

C. GitHub-Repository

Das GitHub-Repository dient als zentrale und transparente Dokumentation des gesamten Entwicklungsprozesses dieser Bachelorarbeit. Es ermöglicht anderen, die Arbeit nachzuvollziehen und darauf aufzubauen. Das Repository „VR-Lernumgebung-zur-Sensibilisierung-fuer-Trinkwasser“ ist unter folgendem Link zugänglich: <https://github.com/IsabellNoack/VR-Lernumgebung-zur-Sensibilisierung-fuer-Trinkwasser>

Inhalte des Repositorys sind:

Ordner „Wasser“

- Enthält das Unity-Projekt mit dem Quellcode und Assets der VR-Lernumgebung

Ordner „Daten-Analyse“

- *Data-LimeSurvey-Export.xlsx* beinhaltet die Rohdaten der Umfrage
- *UEQ_Data_Analysis_Tool_Version12_with-data_custom.xlsx* ist das angepasste Analyse Excel des UEQ-Teams, mit welchem die Daten ausgewertet wurden
- *limesurvey_umfrage-struktur.lss* beinhaltet die exportierte Umfragestruktur
- *limesurvey_umfrage_de.png* ist eine Abbildung der Umfrage

Ordner „Screenshots“

- Enthält visuelle Eindrücke der VR-Lernumgebung aus Unity

ExterneAssets.md

- Hier sind die extern genutzten Inhalte aufgelistet (Audiodateien, Texturen und 3D-Modelle)

Licence.md

- Das Projekt steht unter der MIT-Lizenz

uninteressant	<input type="radio"/>	interessant						
unberechenbar	<input type="radio"/>	voraussagbar						
schnell	<input type="radio"/>	langsam						
originell	<input type="radio"/>	konventionell						
behindernd	<input type="radio"/>	unterstützend						
gut	<input type="radio"/>	schlecht						
kompliziert	<input type="radio"/>	einfach						
abstoßend	<input type="radio"/>	anziehend						
herkömmlich	<input type="radio"/>	neuartig						
unangenehm	<input type="radio"/>	angenehm						
sicher	<input type="radio"/>	unsicher						
aktivierend	<input type="radio"/>	einschläfernd						
erwartungskonform	<input type="radio"/>	nicht erwartungskonform						
ineffizient	<input type="radio"/>	effizient						
übersichtlich	<input type="radio"/>	verwirrend						
unpragmatisch	<input type="radio"/>	pragmatisch						
aufgeräumt	<input type="radio"/>	überladen						
attraktiv	<input type="radio"/>	unattraktiv						
sympathisch	<input type="radio"/>	unsympathisch						
konservativ	<input type="radio"/>	innovativ						
nicht immersiv	<input type="radio"/>	immersiv						

Feedback zur VR-Lernumgebung

Bitte beantworten Sie die Fragen.

Nehmen Sie sich einen Moment Zeit, um Ihre Erfahrungen mit der VR-Lernumgebung in eigenen Worten zu beschreiben.

Finden Sie, dass die Lernumgebung für Schüler der Sekundarstufe I (5. - 10. Klasse) geeignet ist?

Hat die VR-Lernumgebung Ihr Interesse am Thema Trinkwasser geweckt oder gesteigert?

Was hat Ihnen an der VR-Lernumgebung besonders gut gefallen?

Gab es Aspekte der VR-Lernumgebung, die verbessert werden sollen?

Gab es technische Probleme oder Störungen während der Nutzung der VR-Lernumgebung?

Hatten Sie während der Nutzung der VR-Lernumgebung Beschwerden wie Unbehagen, Augenbelastung oder Schwindel?

Welche ergänzenden Funktionen
oder Features würden Sie sich für
die VR-Lernumgebung wünschen?

Welche Erwartungen haben Sie an
zukünftige VR-Lernumgebungen?

Haben Sie sonstige Anmerkungen?

Made in LimeSurvey 

Abbildung 17: Fragebogen (erstellt mit LimeSurvey) [47]

E. Datengrundlage der Umfrageergebnisse

Tabelle 11: Rohdaten des UEQ

Fragen ID	Antworten ID (waagrecht) Gegensatzpaar (senkrecht)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	unerfreulich - erfreulich	6	5	7	7	7	6	6	6	7	6	7	6	7	7	6	7
2	unverständlich - verständlich	6	5	5	7	5	6	6	7	7	7	7	6	6	7	5	7
3	kreativ - phantasielos	1	2	7	1	1	1	2	2	1	2	1	1	1	3	3	1
4	leicht zu lernen - schwer zu lernen	2	4	6	3	2	2	2	2	2	1	1	2	1	1	3	2
5	wertvoll - minderwertig	2	2	6	1	1	2	1	2	2	2	2	1	1	1	2	3
6	langweilig - spannend	7	5	6	7	7	6	7	7	6	6	7	7	7	7	6	7
7	uninteressant - interessant	7	6	5	7	7	7	7	7	6	6	7	7	7	7	6	7
8	unberechenbar - voraussehbar	3	6	5	5	6	4	4	2	5	6	2	3	6	4	6	5
9	schnell - langsam	3	5	5	4	4	2	4	3	2	4	4	4	4	4	4	4
10	originell - konventionell	2	2	2	3	1	2	2	2	3	2	2	1	2	1	4	2
11	behindernd - unterstützend	6	5	5	7	7	7	6	6	6	6	6	6	7	7	4	4
12	gut - schlecht	1	2	1	1	1	1	2	2	2	1	2	1	1	1	2	2
13	kompliziert - einfach	6	7	4	6	6	6	3	4	7	5	6	4	6	7	4	5
14	abstoßend - anziehend	6	4	6	7	7	6	6	5	6	5	7	6	7	6	5	6
15	herkömmlich - neuartig	6	6	5	7	7	6	6	6	7	6	6	7	7	6	5	5
16	unangenehm - angenehm	7	7	6	7	7	6	6	6	6	6	6	6	7	7	6	5
17	sicher - unsicher	2	2	2	4	1	5	2	3	2	2	2	2	2	1	4	4
18	aktivierend - einschläfernd	2	3	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1	1	3	2
19	erwartungskonform - nicht erwartungskonform	2	2	3	2	2	2	4	3	3	4	2	3	4	2	5	2
20	ineffizient - effizient	6	4	5	7	6	7	5	6	6	4	6	6	7	7	4	5
21	übersichtlich - verwirrend	2	1	3	1	2	1	2	4	1	2	2	2	1	1	3	2
22	unpragmatisch - pragmatisch	6	4	6	7	7	7	4	4	6	4	6	7	7	6	3	5
23	aufgeräumt - überladen	1	5	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1	1	2	2
24	attraktiv - unattraktiv	1	2	2	1	1	2	2	1	2	3	1	1	1	1	2	1
25	sympathisch - unsympathisch	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	1	1	3	1
26	konservativ - innovativ	7	6	6	7	7	6	6	7	7	6	7	7	7	7	6	6
27	nicht immersiv - immersiv	6	6	6	7	7	6	6	7	7	6	7	7	7	6	5	5

Tabelle 12: Transformierte Daten des UEQ

Die transformierten Daten gehen von minus drei bis plus drei, wobei plus drei für den positivsten und minus drei für den negativsten Wert steht.

Fragen ID	Antworten ID (waagrecht) Gegensatzpaar (senkrecht)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	unerfreulich - erfreulich	2	1	3	3	3	2	2	2	3	2	3	2	3	3	2	3
2	unverständlich - verständlich	2	1	1	3	1	2	2	3	3	3	3	2	2	3	1	3
3	kreativ - phantasielos	3	2	-3	3	3	3	2	2	3	2	3	3	3	1	1	3
4	leicht zu lernen - schwer zu lernen	2	0	-2	1	2	2	2	2	2	3	3	2	3	3	1	2
5	wertvoll - minderwertig	2	2	-2	3	3	2	3	2	2	2	2	3	3	3	2	1
6	langweilig - spannend	3	1	2	3	3	2	3	3	2	2	3	3	3	3	2	3
7	uninteressant - interessant	3	2	1	3	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	2	3
8	unberechenbar - voraussehbar	-1	2	1	1	2	0	0	-2	1	2	-2	-1	2	0	2	1
9	schnell - langsam	1	-1	-1	0	0	2	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0
10	originell - konventionell	2	2	2	1	3	2	2	2	1	2	2	3	2	3	0	2
11	behindernd - unterstützend	2	1	1	3	3	3	2	2	2	2	2	2	3	3	0	0
12	gut - schlecht	3	2	3	3	3	3	2	2	2	3	2	3	3	3	2	2
13	kompliziert - einfach	2	3	0	2	2	2	-1	0	3	1	2	0	2	3	0	1
14	abstoßend - anziehend	2	0	2	3	3	2	2	1	2	1	3	2	3	2	1	2
15	herkömmlich - neuartig	2	2	1	3	3	2	2	2	3	2	2	3	3	2	1	1
16	unangenehm - angenehm	3	3	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2	3	3	2	1
17	sicher - unsicher	2	2	2	0	3	-1	2	1	2	2	2	2	2	3	0	0
18	aktivierend - einschläfernd	2	1	2	3	3	2	2	2	3	2	2	3	3	3	1	2
19	erwartungskonform - nicht erwartungskonform	2	2	1	2	2	2	0	1	1	0	2	1	0	2	-1	2
20	ineffizient - effizient	2	0	1	3	2	3	1	2	2	0	2	2	3	3	0	1
21	übersichtlich - verwirrend	2	3	1	3	2	3	2	0	3	2	2	2	3	3	1	2
22	unpragmatisch - pragmatisch	2	0	2	3	3	3	0	0	2	0	2	3	3	2	-1	1
23	aufgeräumt - überladen	3	-1	2	3	3	2	2	2	3	2	2	3	3	3	2	2
24	attraktiv - unattraktiv	3	2	2	3	3	2	2	3	2	1	3	3	3	3	2	3
25	sympathisch - unsympathisch	2	2	2	3	3	2	2	3	3	2	3	2	3	3	1	3
26	konservativ - innovativ	3	2	2	3	3	2	2	3	3	2	3	3	3	3	2	2
27	nicht immersiv - immersiv	2	2	2	3	3	2	2	3	3	2	3	3	3	2	1	1

Tabelle 13: Antworten der offenen Fragen

Frage	Antwort
Finden Sie, dass die Lernumgebung für Schüler der Sekundarstufe I (5. - 10. Klasse) geeignet ist?	Ja.
	Ja
	Für 5.-7/8. ja für alles darüber ggf. Ein anspruchsvolleres Thema wählbar
	nach einer Eingewöhnung in VR-Umgebungen, ja
	Ja
	ja, das ist einfach zu erlernen
	ja, auf die Dauer im Lernszenario achten
	ja
	Ja
	Ja, die sind sicher begeistert mal was anderes machen zu dürfen, und zudem etwas spielerisches. Zu viel am Unterricht ist noch stupides Auswendiglernen
	jup
	Ja, moderne Technik mit traditionellem Wissen verknüpfen.
	sehr gut geeignet
	ja
	Ja
Ja	
Hat die VR-Lernumgebung Ihr Interesse am Thema Trinkwasser geweckt oder gesteigert?	Grundsätzlich ja, aber Trinkwasser wird jetzt nicht meine Abendlektüre^^
	Nicht unbedingt. evtl falsche Altersgruppe
	Grundlegend nicht verändert da das Thema an sich bekannt war
	ja
	Ja
	ja
	ja
	ist schon bekannt, also nein
	Wissen wird wieder aufgefrischt und durch die visuelle Darstellung wird das Interesse geweckt.
	Gering, aber ich bin auch kein Schüler
	nö
	Kaum, denn ich bin auch so dafür interessiert.
	ich kannte das Thema schon, aus einem Kinderbuch
	ja
	weder noch
Ja	
Was hat Ihnen an der VR-Lernumgebung besonders gut gefallen?	Das eingängige leichte Tutorial und die Effekte der Wolken im Schaubild.
	Der Roboter
	Schön gestaltet, vielfältig die Möglichkeiten der VR genutzt
	das interaktive Zusammensetzen der Bauteile für den Kreislauf, Bedienungsanleitung sobald man auf die Hände schaut
	Hilfestellungen, sehr aufgeräumt, sehr immersiv, sehr gut animiert
	freie Bewegung und Dinge erkunden und das gute Tutorial
	ja, sehr schön umgesetzt
	das immersieve

	Den Roboter, der einem hilft. Auch die Einstellungsmöglichkeiten, falls Objekte verschwinden. Das Hauptmodell der Darstellung von dem Kreislauf mit den Animationen
	Es gab keine Grafikartefakte, und die Steuerung war intuitiv (auch ohne Tutorial) lernbar
	das rumspielen
	Es war eine komplett neue Erfahrung und Entdeckung für mich. Je besser ich es bediente, umso mehr kam der Spaßfaktor.
	es war spannend und schön
	umgebung sehr freundlich, einfaches bedienung
	Das Labor zu erkunden und die Objekte zu scannen.
	Spielerisches lernen
Gab es Aspekte der VR-Lernumgebung, die verbessert werden sollen?	Nein.
	-
	Ggf. Eine Rückmeldung optisch oder im Textform wenn etwas falsch platziert ist
	nach der 2. Tür sollte der Anleitungs-bot besser zentriert sein, vielleicht neben dem Wasserkreislaufmodell, um bei Fragen direkt da zu sein
	Roboter Texttafeln am Ende noch "OK" oder "weiter", Roboter am Anfang einen um den Tisch führen, Am Ende bei 14 von 14 Elementen Jubel vom Roboter
	vielleicht noch mehr Erklärungen zum Kreislauf
	Kleinigkeiten in der Steuerung (Mehrfachbelegung Joystick), Hinweise bei falschem einsetzen
	die Brille könnte schärfer sein
	Falls man ganz genau vielleicht die Edges der runden 3d Objekte, aber da ist immer wie Abwägung von Performance und LoD. Bei den helleren Objekten vielleicht die Lightmap, da diese bisschen "dreckig" aussah .
	Wenn man ein Objekt aufgenommen hat, sollte man sich noch bewegen können.
	nö
	Spontan keine Idee, denn der Übungsraum war vorhanden.
	der reset-knopf und der alles Reset-Knopf sollten räumlich mehr getrennt werden
	aktuell noch nicht
	Die Einführung interaktiver gestalten. Show don't tell. Der Roboter könnte viel zeigen statt Textfelder die alles erklären.
Die Namen der Elemente könnten von hinten lesbar sein	
Gab es technische Probleme oder Störungen während der Nutzung der VR-Lernumgebung?	Nein, nur Bedienerfehler.
	Bewegungssteuerung zu aktive, Löst zu schnell aus
	Nein
	Unscharf
	Eingewöhnungszeit, die Schärfe der VR Brille.
	Nein, hat einwandfrei geklappt.
	nö
	Nein.
	keine
	nein
	nein
Nein	
Nein.	

Hatten Sie während der Nutzung der VR-Lernumgebung Beschwerden wie Unbehagen, Augenbelastung oder Schwindel?	Nein
	Nein
	nein, aber nach längerer Zeit könnte Schwindel auftreten
	Nein
	etwas Schwindel zu Beginn
	nein
	Augenbelastung, am Anfang leichter schwindel
	Anfang etwas
	Nein.
	nö
	Nein.
	nein
	nein
	ein wenig
	Nein
Welche ergänzenden Funktionen oder Features würden Sie sich für die VR-Lernumgebung wünschen?	Bei Regen, Sonne, Schnee u.Ä. würde ich mir tatsächlich Regen oder Vergleichbares wünschen, um den erfolgreichen Einsatz stärker darzustellen. Gerade bei kleineren Kindern/Jugendlichen ist der "AHA"-Effekt wünschenswert.
	-
	Eine Art Home-Raum indem ich eine Auswahl möglicher Module/Räume haben um diese von Hauptraum aus zu besuchen
	mit anderen Leuten zusammenarbeiten
	keine - bis auf das oben genannte Feintuning
	mehr Levels
	weitere Räume ;-)
	-
	-
	Ich wünsche mir mehr Level als das bisherige eine Level, um weitere Spielfeatures entdecken zu können.
	-
	Mehr Interaktionen mit dem Roboter. Z.B. ein Augenzwinkern ganz am Ende zum Abschied.
	Geräusche wären vielleicht toll
	noch keine
	leicht rotierender Teller in der Mitte, damit man die Lernumgebung von allen Seiten sieht, ohne rundherum zu laufen. Sound. Atmosphäre und Sound bei Interaktion
Neben dem Inhalt kurzes Mini-Spiel	
Welche Erwartungen haben Sie an zukünftige VR-Lernumgebungen?	
	Keine besonderen, solange sie unterhaltsam sind.
	-
	Mehr inhaltliche Module
	das mehr Aufgaben erfolgen und eine Zusammenarbeit mit anderen Gruppenmitgliedern
	Mehr davon
	-
	verständliche Darstellung komplizierter Sachverhalte
	schärferes Bild
	Erweiterungen weiterer Stationen zum Thema Trinkwasser, vielleicht irgendwann bei zum Beispiel der Wassertextur eine Art Transparenz

	Ich habe täglich mit technischen Gruseligkeiten zu tun, weshalb Erwartungen immer zu ihrem Umfeld gehören und ohne dieses nicht gut setzbar sind. Ich habe eher Hoffnungen, und zwar dass die genauso einfach laufen, und die Steuerung ähnlich einfach ist.
	-
	Bessere Konzentration jedes Schülers auf den Lernstoff.
	weitere Themen und Räume
	noch keine
	Mehr Labore und mehr Versuche. Bei erfolgreichem Versuchen fahren Elemente in den Boden und neue Elemente für neue Versuche tauchen auf.
	Sehr einfache Bedienung, sodass eine intuitivere Nutzung möglich ist und Ablenkungen minimiert werden
Haben Sie sonstige Anmerkungen?	-
	-
	Ich hatte vor der Lernumgebung schonmal Erfahrung mit der Oculus und VR gehabt, deswegen war die Bedienung für mich recht einfach
	Gute, aufgeräumte Umgebung mit guter Anleitung. Der Spaßfaktor wird durch das Interaktive erhöht und man merkt, dass man beim Lernen Spaß haben kann.
	Vorerfahrung für AR und VR Welten mit der Meta Quest 3
	hat viel Spass gemacht und schön ausgearbeitet!
	-
	-
	-
	Nein.
	ich fand es gut
	Hat Spaß gemacht.
	-
	nein
	-
	-

F. Verteilung der Antworten pro Gegensatzpaar

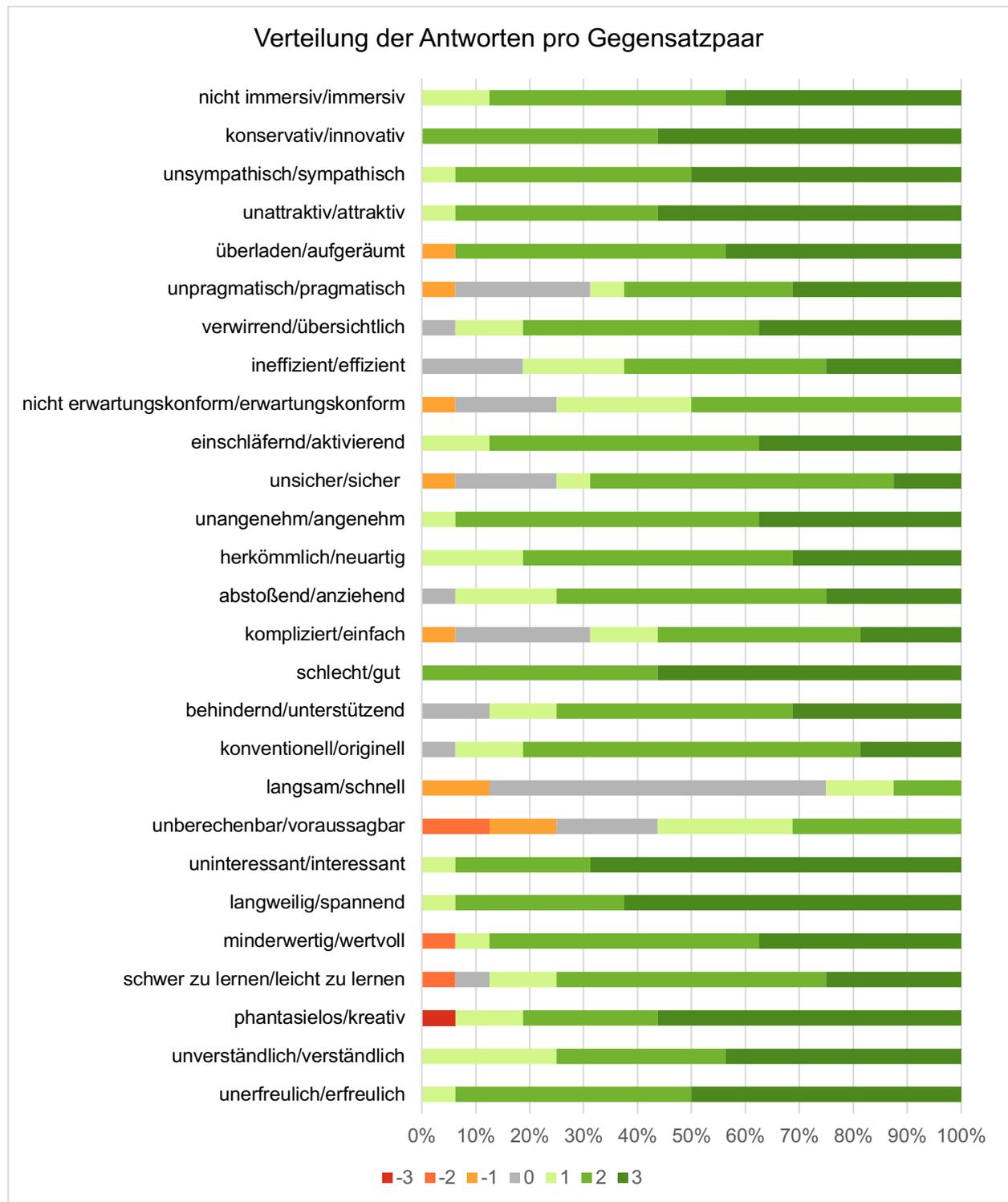


Abbildung 18: Verteilung der transformierten Antworten pro Gegensatzpaar

Ehrenwörtliche Erklärung und Einverständniserklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne unerlaubte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Alle Stellen, die inhaltlich oder wörtlich aus Veröffentlichungen stammen, sind kenntlich gemacht. Diese Arbeit lag in der gleichen oder ähnlichen Weise noch keiner Prüfungsbehörde vor und wurde bisher noch nicht veröffentlicht. Hiermit erkläre ich mich mit der Einsichtnahme in meine Abschlussarbeit im Archiv der Bibliothek der EAH Jena einverstanden.

Jena, 19.08.2024

Ort, Datum



Unterschrift